

Universidad Autónoma de Querétaro

FACULTAD DE QUIMICA

"SOLDADURA PARA LA CONSTRUCCION
DE LINEAS DE CONDUCCION
PARA HIDROCARBUROS
PRODUCCION E INSPECCION"

MEMORIA DE TRABAJO

QUE PARA OBTENER EL TITULO
DE QUIMICO METALURGICO

p r e s e n t a

FACULTAD DE
QUIMICA

ROBERTO GOMEZ CHABELA



BIBLOTECA

QUERETARO, QRO. 1993

No. Ad. 150105

No. T.

Clas. 671.52

66335

LIBRERIA
CALLE
100

MEMORIA DE TRABAJO:
SOLDADURA PARA LA CONSTRUCCION DE LINEAS
DE CONDUCCION PARA HIDROCARBUROS
PRODUCCION E INSPECCION

PRESENTADA POR:
ROBERTO GOMEZ CHABELA

DEDICATORIAS

ESTA MEMORIA,
LA DEDICO A TODAS LAS PERSONAS
QUE DE UNA FORMA U OTRA
ME APOYARON EN LA REALIZACION
DE ESTE TRABAJO
ESPECIALMENTE:

A
MIS PADRES;
QUE CON SU ESFUERZO Y DEDICACION
HICIERON POSIBLE
MI FORMACION Y EDUCACION

A
MIS MAESTROS;
QUIENES COMPARTIERON CONMIGO
SUS CONOCIMIENTOS

A ESTA UNIVERSIDAD,
QUE NOS BRINDO LA OPORTUNIDAD
DE TENER UNA PREPARACION
PARA SER HOMBRES DE BIEN A NUESTRO PAIS

CON TODO MI CARINO
PARA MI ESPOSA LETTY
Y MI HIJA MARIA FERNANDA

GRACIAS POR SU APOYO

INDICE

INTRODUCCION.....	1
OBJETIVOS	2
1. LA SOLDADURA	5
1.1. Qué es la Soldadura	5
1.2. Procesos de Soldadura	18
1.2.1. Estudio de Arco Metálico	26
1.2.2. Soldadura de Arco Metálico Protegido	26
1.2.3. Soldadura de Arco con Electrodo de Tungsteno Protegido con gas (TIG)	32
1.2.4. Soldadura de Arco Protegido con gas (MIG)	38
2. EQUIPO DE SOLDADURA	44
2.1. Equipo de Soldadura	44
2.2. Electrodo	53
2.3. Fabricación de Electrodo	66
3. TECNICA DE SOLDADURA	69
3.1. Técnica para depositar la Soldadura	72
3.2. Calificación de la Soldadura	78
3.2.1. Calificación Simple	78
3.2.2. Calificación Múltiple	80
3.2.3. Calificación por Examen Visual	82
3.2.4. Calificación por Prueba Destructiva	83

3.2.5.	Calificación por Inspección Radiográfica	83
3.3.	Producción de Soldadura en Líneas de Conducción.	86
3.3.1.	Fases Constructivas de las Líneas de Conducción.	87
3.3.2.	Producción de Soldadura en Líneas Regulares	96
3.3.3.	Producción de Soldadura en Obras Especiales	98
3.3.3.1.	La Soldadura en el Cruzamiento de Vías de Comunicación	99
3.3.3.2.	La Soldadura en el Cruzamiento de Ríos y Pantanos	101
3.4.	Control de las Soldaduras	104
3.4.1.	Supervisión	105
4.	LA INSPECCION RADIOGRAFICA DE LA SOLDADURA	107
4.1.	Fundamentos	107
4.1.1.	Inspección con Rayos X	108
4.1.1.1.	Ventajas y Desventajas del uso de Rayos X	114
4.1.2.	Inspección con Rayos Gamma	117
4.1.2.1.	Ventajas y Desventajas del uso de Rayos Gamma ..	121
4.2.	Técnicas de la Exposición Radiográfica	124
4.3.	Indicaciones de Calidad de Imágen	135
4.4.	La Radiografía en la Construcción de Líneas	140
4.5.	Aceptación de las Radiografías	147
4.6.	Normas de Seguridad en la Inspección Radiográfica	152
5.	INTERPRETACION DE LA INSPECCION RADIOGRAFICA ...	157
5.1.	Los Defectos y su Inspección	157
5.2.	Defectos de la Soldadura	159

5.2.1.	Defectos Dimensionales	161
5.2.2.	Discontinuidades Estructurales	163
5.2.3.	Defectos en las Propiedades del Metal base o de Aporte	190
5.3.	Criterios de Aceptación y Rechazo de Defectos ..	193
5.4.	Reparación de Defectos	201
6.	PRUEBAS DE LA SOLDADURA	204
6.1.	Pruebas Mecánicas de la Unión Soldada	204
6.2.	Pruebas Hidrostáticas o de Hermeticidad	215
	CONCLUSIONES	222
	BIBLIOGRAFIA	225

ABREVIATURAS

A	Ampere
API	American Petroleum Institute
ASTM	American Society For Testing of Materials
AWS	American Welding Society
°C	Grado Centígrado
C.A.	Corriente Alterna
C.C.	Corriente Continua
Cm 2	Centímetros Cuadrados
Kg.	Kilogramo
KV.	Kilovatio
m	Metro
MIG	Metal Inert Gas
mm	Milímetro
PSIG	Pound Per Square Inch Gauge
TIG	Tungsten Inert Gas
V	Volt
ZAC	Zona Afectada por el Calor

INTRODUCCION

Nuestra calidad de País productor y exportador de Petróleo, nos ubica en una posición preponderante a nivel mundial, siendo éste, el principal aspecto que observamos cotidianamente, debido a la gran difusión de noticias que sobre el particular se genera por ser el sostén de nuestra economía.

La extracción, refinación y distribución del Petróleo y sus derivados a nivel Nacional, es un renglón poco conocido que no por eso deja de ser importante.

En la actualidad, la Empresa Paraestatal Petróleos Mexicanos, tiene una planta productora que cubre el país a través de sus complejos Petroquímicos, Plantas de Refinación y Distribución.

Entre los centros de producción y los de distribución, existe una gran distancia a recorrer, por eso fue necesario, desde la década de los cincuenta, la construcción de líneas de conducción de hidrocarburos para salvar las distancias involucradas.

Se denomina Línea de Conducción, al medio de transporte utilizado para llevar en línea de tubería un hidrocarburo sin refinar o refinado, del Centro de Producción al de Refinación ó del Centro de Refinación al de Distribución.

Desde las primeras líneas de conducción, fue necesario utilizar tecnología de vanguardia para asegurar que durante su

construcción y su utilización se alcanzarían los estándares Internacionales de calidad, establecidos en la materia.

La construcción de estas obras, involucra las siguientes fases:

- Apertura de Derecho de Vía
- Zanja
- Tendido de Tubería
- Soldadura
- Protección Mecánica
- Bajado y Tapado
- Prueba Hidrostática
- Obras Especiales
- Limpieza final del Derecho de Vía

El presente Documento, trata específicamente sobre la fase de "Soldadura" y sus diferentes aspectos como son: sus fundamentos, cómo se realiza, cómo se inspecciona y qué tipo de pruebas se llevan a cabo.

La calidad de la soldadura, juega un papel primordial durante la construcción, ya que ésta constituye la continuidad de la línea, su hermeticidad y resistencia.

Debido a sus características, la construcción de la línea, se lleva a cabo fuera de zonas pobladas, atravesando llanuras, montañas, ríos, pantanos, etc.; mismos que imponen sus condiciones al proceso constructivo. Pero no obstante esto, la calidad de la soldadura aplicada, debe ser intachable y dentro

de los parámetros establecidos, ya que ésta se sujeta comúnmente a presiones de Prueba Hidrostática de 107 Kg/cm² (1512 PSIG). [1, 14].

Considerando lo anterior, el equipo de trabajo, compuesto por el Soldador, la Inspección y la Supervisión, constituyen la herramienta con que se cuenta para alcanzar el objetivo.

OBJETIVO

Establecer un documento formal relativo al proceso de Soldadura en la construcción de líneas de conducción, su ejecución e inspección; sustentado en las normas, especificaciones y experiencias adquiridas en el campo.

Lo anterior, con el deseo de hacer extensivo el conocimiento adquirido sobre la materia a personas con formación en el campo de la Metalurgia.

1.1. QUE ES LA SOLDADURA

Las técnicas de soldadura, son tan variadas en la actualidad que resulta difícil definir con exactitud qué es una soldadura. Antiguamente, ésta se definía como la unión de metales por fusión; pero, hoy en día, esta definición no es correcta. Sí bien los métodos de fusión del metal para la soldadura son los más comunes, no son los que se utilizan siempre. Posteriormente, a la soldadura se le definió como la unión de metales mediante el calor, lo cual no es del todo correcto, ya que existen procedimientos de soldadura en los cuales no es preciso aportar calor, como es el caso de la soldadura en frío bajo presión, por ultrasonido ó mediante rayo laser.

Una definición acorde a la diversidad de procesos existentes, es "La soldadura es la unión de metales por métodos que no requieren dispositivos de sujeción". [5, 22].

Un ejemplo de este proceso, es el que utilizaban los herreros, conocido con el nombre de soldadura por forja.

La soldadura como un proceso de fabricación o construcción, fue desarrollado hasta este siglo. En 1880, se utilizaban lámparas eléctricas de arco de carbón para el alumbrado público. En ese entonces, se observó que este tipo de lámparas generaban más calor que luz, por lo cual este medio empezó a ser usado para soldar metales, siendo perfeccionado a finales del siglo pasado. En 1900 aparecieron los electrodos en forma de barras

muy finas. La soldadura oxiacetilénica, durante la Segunda Guerra Mundial, fue utilizada en operaciones de reparación y mantenimiento. La aplicación de Rayos X para el examen de las soldaduras, dió lugar a una mayor confiabilidad en las uniones soldadas, por lo anterior, se generalizó su uso durante la Segunda Guerra Mundial.

Al requerir la industria bélica de soldaduras con características más y más estrictas, propició el desarrollo de mejores métodos, mismos que prevalecen hasta nuestros días y de los cuales hablaremos mas adelante.

En si la soldadura es un método mediante el cuál un metal de aporte, electrodo, es fundido por la acción de un arco eléctrico y es depositado sobre una ranura para unir dos piezas metálicas.

El tipo de soldadura que se utiliza en líneas de conducción, es el de arco metálico protegido (SHIELDED METAL ARC WELDING), el cuál, ha demostrado ser el método más versátil por su sencillez y buen rendimiento en cuanto a la producción de soldadura se refiere.

Es definitivo que para que la soldadura aplicada tenga iguales o mejores características mecánicas que el metal a unir, se debe tener un conocimiento y control sobre los mecanismos que se presentan durante el proceso a nivel metalúrgico.

Sabemos que la microestructura y los componentes que la

integran, determinan las propiedades mecánicas de la soldadura. Para una mejor comprensión del proceso, es necesario iniciar el estudio desde la fusión del metal, la solidificación y el enfriamiento del mismo.

El proceso de soldar, puede ser comparado con una operación de fundir una carga de metal, su refinación, colado y solidificación. El proceso se puede comparar a la fabricación de un lingote de acero y la aplicación de una soldadura. Cabe hacer la observación que en el caso del lingote de acero, las operaciones se producen durante un tiempo medido en horas; mientras que en la soldadura las operaciones similares ocurren en segundos o fracciones de segundo.

Para fundir una carga de acero AISI-1030, por ejemplo, se debe elevar la temperatura del metal por arriba de la línea de líquidus del diagrama Fe-Fe₃C (1600° C) aportando el calor necesario por medio de energía eléctrica, gas, combustóleo, etc. La soldadura se funde por la acción de la electricidad.

El acero es fundido dentro de un recipiente adecuado, llamado horno. La soldadura se funde dentro de la ranura formada por las partes a unir. En ambos casos la cantidad de calor necesaria para la fusión, está en relación con la cantidad de metal por fundir.

El acero recién fundido en el horno, no tiene en general la composición química que se necesita, por lo que se requiere refinarlo. Durante la refinación, se abaten los contenidos de

fósforo y azufre, se ajusta la concentración de carbón, se añaden aleantes y desoxidantes.

La soldadura está fabricada de tal forma que el análisis químico del metal depositado es el que se requiere. El metal de aporte, electrodo, puede no corresponder al análisis químico del depositado y para que, al final, esté dentro de la composición requerida, el electrodo es fabricado considerando las pérdidas ocasionadas por la fusión, además de ello, con frecuencia los metales de aleación están en el revestimiento del electrodo en forma de ferroaleaciones o de óxidos.

La escoria en el acero fundido, tiene por objeto protegerlo de la atmósfera, impidiendo que absorba oxígeno y nitrógeno, otra acción de la escoria es la disolución de impurezas del acero líquido. En la soldadura la acción de la escoria es similar.

El acero en su punto en cuanto a temperatura y composición química, es vaciado del horno a una olla y transportado para ser colado en moldes para lingotes o piezas. La soldadura no sufre estos procesos, puesto que en el lugar que es depositada es donde se solidifica.

El acero ya en el molde, inicia su enfriamiento. Siendo la temperatura del molde menor al del metal fundido se establece un flujo de calor del metal al recipiente. La zona del metal fundido que inicia la solidificación, es la que está en contacto con la superficie del molde avanzando desde allí hacia el

centro del crecimiento de los cristales.

Los cristales solidificados forman granos arborecentes o dendríticos. A medida que las dendritas se enfrían se contraen dejando un espacio que es ocupado por metal líquido solidificándose a su vez, reiniciándose el ciclo, nuevamente.

En el proceso de solidificación de gran cantidad de metal, en la región central del lingote, se forma una zona de huecos producidos por las contracciones finales, para los cuales no hubo metal líquido disponible. Por otro lado, las impurezas de menor punto de fusión, se van concentrando formando zonas de segregación. [2, 49]

Un lingote o una pieza colados, en general, no recibirán una nueva cantidad de metal líquido que solidifique, en cambio en la soldadura, después de solidificar un cordón, pueden aplicarse otros más.

La solidificación de un sólo cordón de soldadura ocurre de manera similar a la descrita para el lingote de acero, pero a una velocidad mayor, ya que se tiene una cantidad de metal menor.

La estructura final de la soldadura, también es dendrítica, presentando en ocasiones, una pequeña grieta central por la contracción de la masa metálica. [2, 49]

La mayoría de las soldaduras se realizan con más de un cordón,

la aplicación de un segundo cordón, afectará la estructura del primero, debido al calor aplicado.

Cuando un lingote de estructura de colada (dendrítica), es sometida a un calentamiento en condiciones controladas de tiempo y temperatura, desaparecerá la estructura original transformándose en una formada por granos más o menos poligonales. [2, 50]

El comportamiento de un segundo cordón, en cuanto a sí mismo, es igual que el del primero, pero el calor generado durante su aplicación, afectará, como ya se indicó, la estructura del primero.

Se considera que el efecto del segundo cordón, sobre el primero, genera tres zonas, ya que éstas han alcanzado temperaturas de 1200, 950 y 600°C respectivamente. (Figura 1.1.). [2, 51]

ZONA 1.- Se calienta hasta 1200 °C y a continuación se enfría al aire. La condición así descrita, corresponde a un tratamiento térmico de normalizado. El calor que recibe esta zona se consume al romper la estructura dendrítica para formar a continuación la austenita. El normalizado produce una estructura con una cantidad menor de ferrita que sí se enfriará lentamente y una perlita más fina.

ZONA 2.- Se calienta a 950°C posiblemente no modifica su estructura dendrítica, porque, aunque la temperatura es

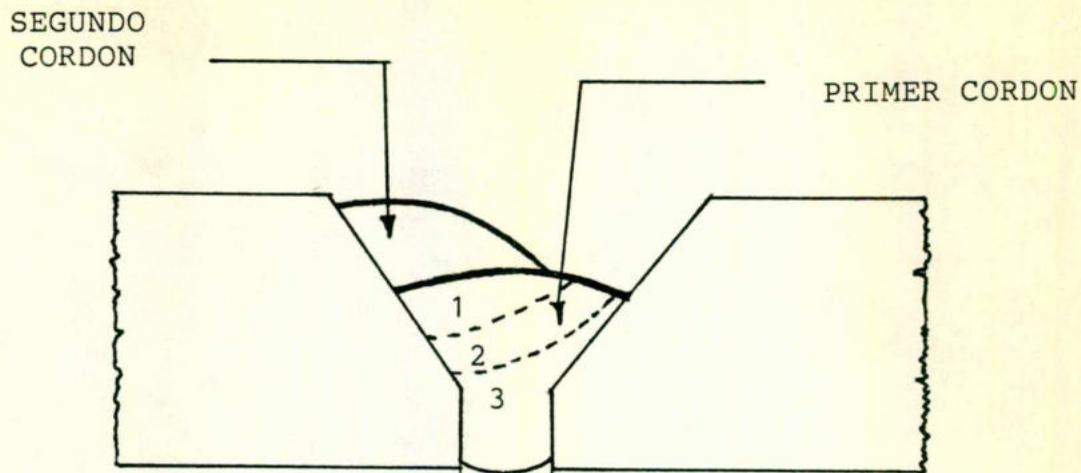


FIGURA 1.1.

[2, 50]

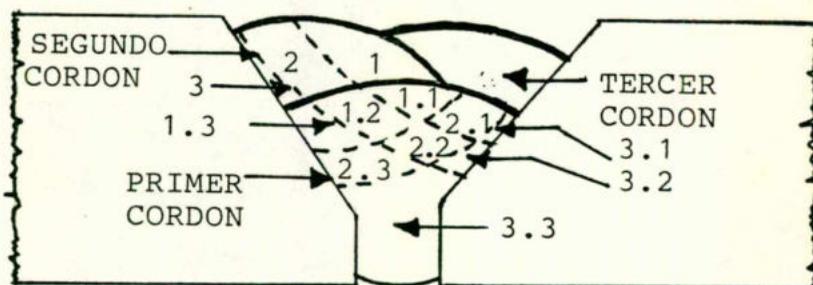


FIGURA 1.2.

[2, 51]

suficiente el tiempo de aplicación no lo es. Al enfriarse al aire, la estructura dendrítica es menos angular y por ello menos agresiva.

ZONA 3.- Aún más alejada del segundo cordón, sólo se calienta a 600°C que no es suficiente para alterar la estructura.

En la Figura 1.2., se ilustra el caso de la influencia de un tercer cordón sobre los cordones anteriores. Se consideran las mismas tres zonas de influencia sobre la masa metálica formada por los dos primeros cordones. Ahora se produce una combinación de estructuras, debido a que el calor va a afectar tanto a la zona dendrítica del segundo cordón como la estructura parcialmente afectada del primero. [2, 51]

ZONA 1.- Se calienta a 1200°C y se enfría al aire. Ocurre en la estructura un tratamiento térmico de normalizado como ya se explicó para la zona No. 1 del primer cordón y la estructura que se forma es igual a la descrita para esa zona.

ZONA 2.- Se calienta a 950°C y se enfría al aire. La estructura dendrítica no se borra pero se hace menos agresiva.

ZONA 3.- Alcanza una temperatura de 600°C y se enfría al aire. No se modifica la estructura dendrítica.

ZONA 1.1.- Se calienta por segunda vez hasta 1200°C y se enfría al aire. La estructura dendrítica ya fue borrada con el calor del segundo cordón; en esta ocasión, se vuelve a

austentizar la zona y a crecer los granos. El enfriamiento, al aire normaliza la zona produciendo nuevamente una estructura de ferrita y de perlita fina.

ZONA 1.2.- Ya había sido normalizada, el nuevo calentamiento a 950°C sólo aumentará un poco la proporción de la ferrita.

ZONA 1.3.- Zona que ya había sido normalizada; el calentamiento a 600°C hace que la cementita de la perlita tienda a globulizarse.

ZONA 2.1.- Esta zona tenía después de la aplicación del segundo cordón, una estructura dendrítica regularmente agresiva. Ahora se calienta a 1200°C y se enfría al aire, con lo cual se normaliza quedando una estructura de ferrita y perlita fina.

ZONA 2.2.- Esta zona sufre por segunda vez un calentamiento a 950°C normalizándose ahora y adquiriendo la estructura correspondiente.

ZONA 2.3.- La estructura dendrítica de esta zona se suaviza un poco debido al calentamiento a 600°C.

ZONA 3.1.- La estructura de esta zona, corresponde a un tratamiento térmico de normalizado puesto que se calienta a 1200°C y se enfría al aire.

ZONA 3.2.- Presenta una estructura dendrítica similar

a la zona 2.2.

ZONA 3.3.- La estructura de esta zona no se modifica.

La aplicación de un cuarto cordón afecta la estructura de los tres cordones anteriores en la misma forma que ya se ha explicado.

Hasta este punto, nos referimos sólo a la fusión y solidificación del metal de aporte que se deposita en la ranura hecha entre las piezas de metal a unir, mismo que es denominado metal base. En sí el metal base es el recipiente donde se solidifica el metal fundido.

Cuando se trata de la fusión y solidificación de un metal en una industria, el recipiente cambia; es el horno durante la fusión y refinación, es la olla que transporta el metal del horno a los moldes y es la lingotera o molde, durante la solidificación. En cada operación el metal afecta las paredes del recipiente, pero, en la utilización del metal fundido y solidificado, no forma parte del sistema.

La soldadura funde, se refina y solidifica en el mismo recipiente que es el metal base y éste si forma parte del sistema.

El metal de la soldadura afecta, por el calor, una zona del metal base a ambos lados del cordón. Esta zona afectada por el calor (ZAC), tiene unas dimensiones que dependen de la cantidad de calor transmitido. [2, 52]

Si consideramos que se ha depositado un cordón de soldadura en un metal base que consiste de acero (Figura 1.3.); el calor producido por la operación, afecta la estructura del metal base produciendo transformaciones de acuerdo con la temperatura que se alcanza en cada zona y a la velocidad del enfriamiento, mostrando la ZAC en consecuencia, diversas regiones. [2, 54]

ZONA 1.- Es la más cercana al cordón de soldadura. Alcanza una temperatura de 1350°C. La estructura original del metal base, que es de ferrita y perlita, a la temperatura indicada, forma granos grandes de austenita. El enfriamiento rápido produce una estructura de grandes masas de perlita y algo de ferrita.

Si es demasiado grande el crecimiento de los granos de austenita, con el enfriamiento al aire se produce una estructura llamada Widmanstätten que se debe a la precipitación de la ferrita a lo largo de los planos de cristalización de la austenita. El aspecto en esta estructura es el de líneas con ferrita orientadas, rodeadas de perlita más o menos fina. Esta estructura es de muy baja ductilidad; tiene una resistencia al impacto de la décima parte en la resistencia de la estructura original.

ZONA 2.- Se calienta hasta 1050°C. La estructura del metal base se hace austenítica sin crecimiento de grano; al enfriarse al aire se normaliza, produciéndose una estructura escasa de ferrita y abundante de perlita, de acuerdo al

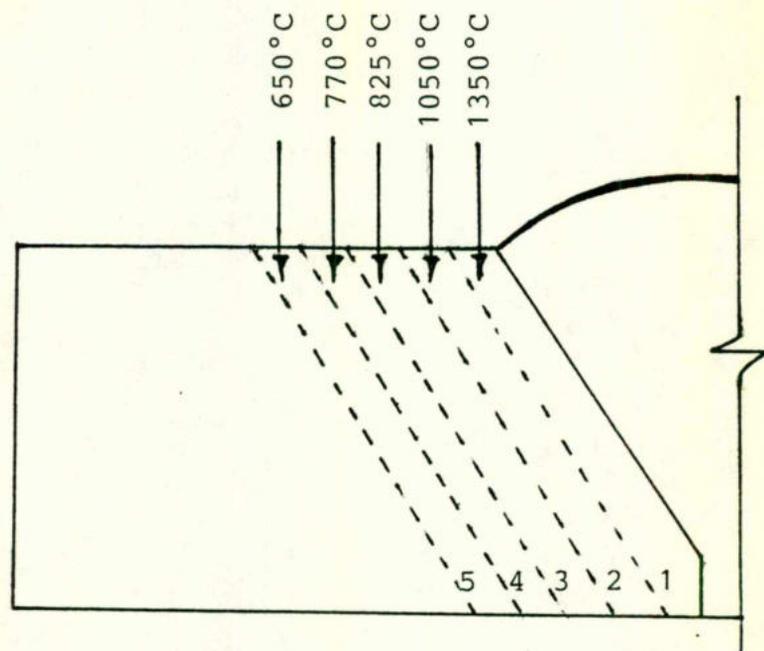


FIGURA 1.3

[2, 53]

ZONA AFECTADA POR EL CALOR (ZAC)

tratamiento térmico.

ZONA 3.- Se calienta hasta 825°C o sea, justamente por arriba del punto A_3 del diagrama Fe-Fe₃C. La austenita que se forma es heterogénea en cuanto a su contenido de C, ésto es, habrá regiones de austenita con bajo C y regiones con alto C; estas regiones producen, al enfriarse, estructuras de ferrita-perlita de diferentes proporciones, así como la perlita en unas zonas es más gruesa y en otras más fina.

ZONA 4.- Se calienta a 770°C ; esta temperatura corresponde a un punto situado entre los puntos A_1 y A_3 del diagrama Fe-Fe₃C lo que significa que la estructura original del metal base, se transforma permaneciendo la ferrita y pasando la perlita a austenita. Al enfriarse la ferrita no se modifica y la austenita se transforma a ferrita y perlita en granos más pequeños. Esta perlita es fina.

ZONA 5.- Sólo se alcanzan 650°C lo que significa que, por estar abajo del punto A_1 , no habrá modificaciones estructurales; sólomente la cementita de la perlita tiende a globulizarse.

Más allá de la zona anterior las temperaturas no afectan la estructura.

La aplicación de otros cordones de metal de aporte, actuará sobre la ZAC modificando nuevamente las estructuras.

1.2. PROCESOS DE SOLDADURA

Existen en la actualidad alrededor de cuarenta procedimientos de soldadura; muchos de los cuales se aplican en diversas modalidades y variantes, patentadas bajo diversos nombres y marcas comerciales. Sin embargo, existe un cierto número de métodos de soldar que pueden considerarse básicos o fundamentales y que se pueden agrupar en tres tipos de operación: soldadura de arco, soldadura con gas y soldadura por resistencia.

La clasificación de métodos de soldadura ampliamente aceptados es la propuesta por la AWS (American Welding Society). [2, 84]

En la tabla 1.1. se muestra en forma simplificada, una clasificación apegada a lo establecido por la AWS.

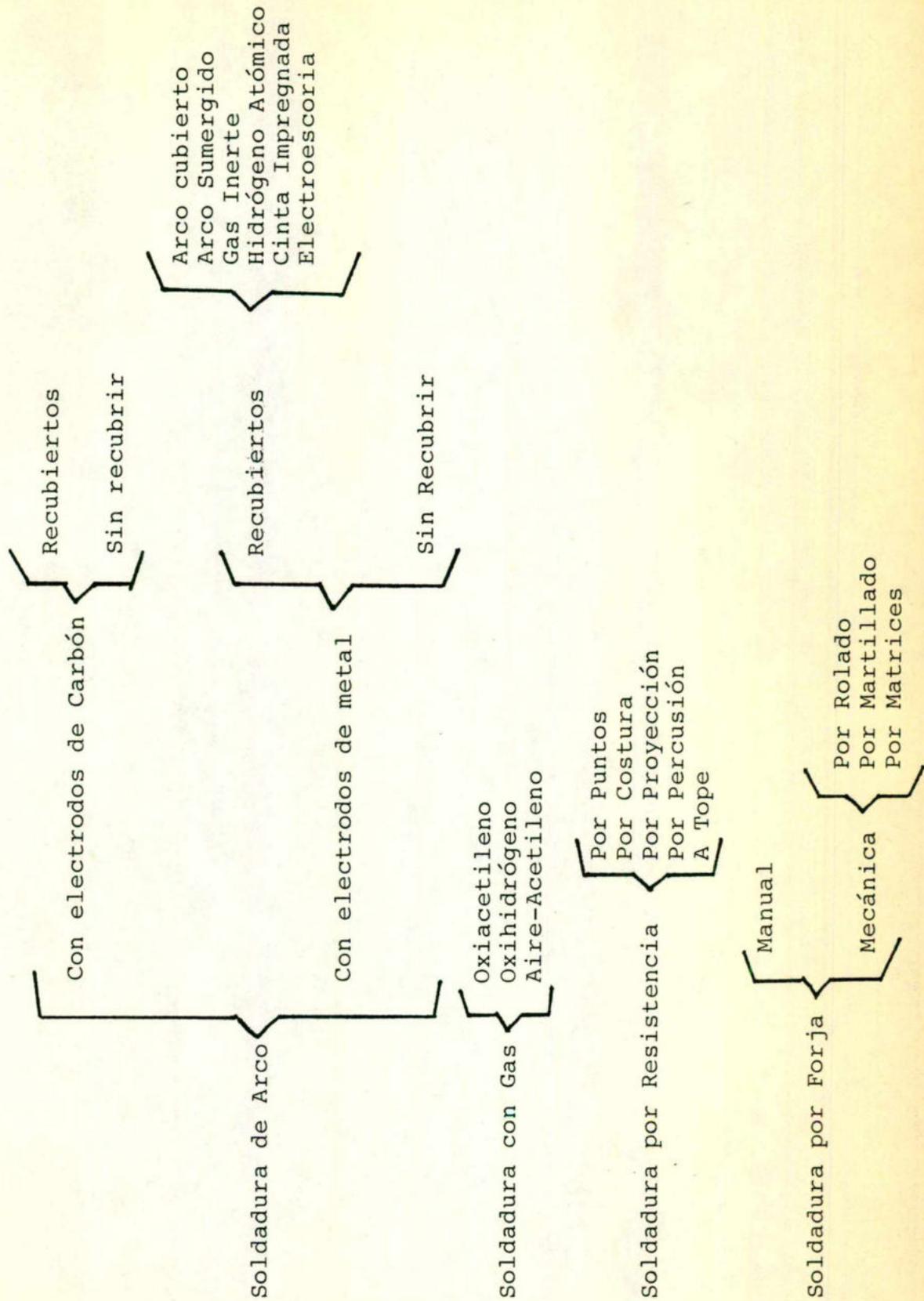
1.2.1. ESTUDIO DEL ARCO METALICO

De la clasificación mostrada en la tabla 1.1., consideraremos únicamente el estudio de la soldadura de arco, ya que este método de fusión del metal, es el empleado para llevar a cabo la soldadura de la tubería utilizada en la construcción de las líneas de conducción.

La física nos dice que el arco es la manifestación de una emisión de electrones que provienen de un cátodo incandescente bombardeando al ánodo a gran velocidad. Este bombardeo

TABLA 1.1.
[2, 84]

CLASIFICACION GENERAL DE LOS METODOS DE SOLDADURA



incesante, provoca la ionización por choque de las moléculas neutras, originando una gran elevación de la temperatura. [3,60]

El arco metálico de la soldadura, funcionando con corriente continua muestra las zonas indicadas en la figura 1.4. [3, 60]

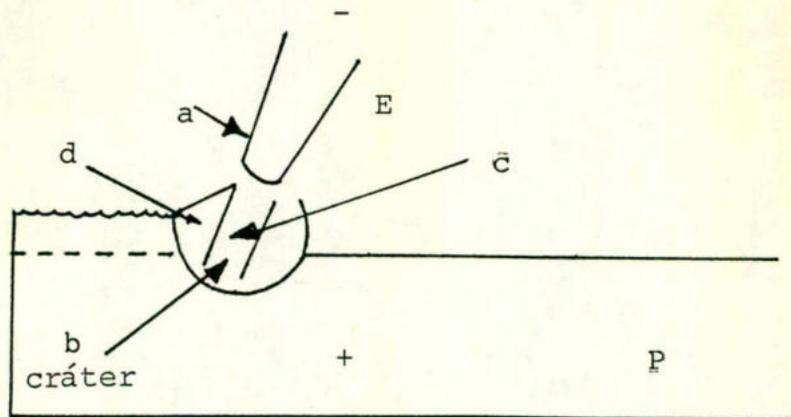


FIGURA 1.4.
[3, 61]

a) En el extremo del electrodo E, conectado al polo negativo, se forma una punta muy luminosa que constituye el punto de partida del arco.

b) Sobre la pieza a soldar P (polo +), existe una zona luminosa en forma de cubeta que constituye el cráter del arco donde el metal permanece en fusión.

c) Un haz luminoso de sección muy pequeña que forma el arco entre el electrodo y el cráter, constituye el núcleo del arco.

d) Alrededor del núcleo del arco, existe una aureola -

o llama de forma irregular en estado de agitación continua, que es desplazada constantemente por el campo magnético creado por la corriente.

La tensión y la intensidad de la corriente aplicada, no están ligadas por una relación simple como la ley de OHM, la variación de estos dos factores, se produce en sentido inverso; cuando la intensidad de la corriente I aumenta, la tensión V disminuye, primero rápida y después lentamente. [3, 61]

Esto se explica de la siguiente forma: El arco representa un tipo muy particular de resistencia eléctrica en el que la resistencia existente en el momento de iniciarse el arco, no es la misma que existe cuando el arco está establecido. En el inicio, el voltaje del arco tiene que vencer la barrera del aire que tiene una gran resistencia, pero una vez iniciado, los gases de la barrera se ionizan y se hacen conductores; de tal forma que la corriente se invierte y queda en corto circuito, de ahí que en un principio el arco se provoca, poniendo en contacto el electrodo y la pieza (corto circuito), y una vez iniciada la corriente, se separa el electrodo ligeramente.

Cuando se pretende soldar mediante el proceso de arco eléctrico, piezas muy gruesas, se necesita mucho calor, por lo que es necesario alto amperaje, pero para poder llevar esta cantidad de corriente se requiere un conductor grueso, lo que hace indispensable que el electrodo sea de diámetro grueso (hasta

de 1/4" de diámetro, 6mm). En cambio cuando se pretende soldar láminas delgadas, se utiliza bajo amperaje para evitar que se perfore por fusión (60 amperes), mismos que pueden ser perfectamente conducidos por un electrodo grueso, pero como el calor producido en estas condiciones es reducido, no se logra fundir el electrodo, lo que hace necesario usar uno más delgado (3/32" diámetro, 2.5mm).

CALCULO DE AMPERAJE PARA ESTABLECER DIAMETROS DE ELECTRODO
[3, 45]

FORMULA:

$$A = 50 (D - 1)$$

SIENDO:

A= Amperes

50= Constante

D= Diámetro del electrodo en mm.

1= Constante

DIAMETRO DEL ELECTRODO		AMPERES
(PULG)	(MM)	
3/32	2.4	70
1/8	3.2	110
5/32	4.0	150
3/16	4.8	190
1/4	6.4	270

POR FORMULA:

$$A = 50 (2.4 - 1) = 50 \times 1.4 = 70$$

$$A = 50 (3.2 - 1) = 50 \times 2.2 = 110$$

$$A = 50 (4.0 - 1) = 50 \times 3.0 = 150$$

$$A = 50 (4.8 - 1) = 50 \times 3.8 = 190$$

$$A = 50 (6.4 - 1) = 50 \times 5.4 = 270$$

El arco eléctrico, puede ser corto, cuando el electrodo va casi pegado al metal base; o largo donde el electrodo se separa más con respecto a la pieza a soldar dependiendo esta longitud de arco, del voltaje utilizado en forma proporcional; que como sabemos, es la presión o fuerza electromotriz necesaria para el desplazamiento de los electrones; consecuentemente a mayor presión de los electrones saltan una longitud mayor.

Al establecer el arco, existen dos tipos de polaridad en lo que se refiere a corriente directa o continua y son las siguientes:

POLARIDAD DIRECTA O POSITIVA.- Es cuando los electrones viajan del electrodo hacia la pieza, y se logra conectando el electrodo, al polo negativo y la pieza al polo positivo de la máquina, ya que los electrones viajan de negativo a positivo. Esta polaridad directa, tiene como característica fundamental, proporcionar un arco bastante extendido que produce una pequeña capa de material fundido del metal base, lo que redundará en una baja penetración y una pequeña capa del metal depositado, ya que se tiene que extender en un área bastante grande, obteniéndose de esta manera un

cordón plano. Su máxima aplicación la tenemos en soldadura de materiales delgados y en revestimientos duros en donde ordinariamente lo que se necesita es una capa superficial de un material de aporte más duro que el material base, al tener éste poca fusión, también se tiene poca dilución del material de aporte, obteniéndose así las mejores características del depósito.

POLARIDAD INVERTIDA O NEGATIVA.- En este caso se conecta el polo positivo, al electrodo y la pieza al polo negativo de la máquina. Esta polaridad tiene como característica especial una concentración de calor en su punto de aplicación que produce una fusión considerable del metal base, lo que redundará en una gran penetración y una concentración del metal de aporte, produciendo cordones muy abultados. Su máxima aplicación se encuentra en soldura de piezas gruesas y en lugares donde no se quiera hacer un biselado especial a las piezas, para lograr que la soldadura llegue hasta el fondo. Es la más común de las polaridades utilizadas en soldaduras de aceros estructurales, también se usa en revestimientos duros para "Relleno".

Lo ideal sin duda sería tener una polaridad intermedia que nos de cordones de soldadura medianos en cuanto a su penetración - y altura, esto se logra con la corriente alterna, ya que cambia constantemente de polaridad, sólo que tiene la desventaja de que es difícil establecer el arco si no tiene un revestimiento

especial en el electrodo. Este revestimiento permitirá usar el electrodo indistintamente con transformador (corriente alterna) o con rectificador o generador (corriente directa).

1.2.2. SOLDADURA DE ARCO METALICO PROTEGIDO

El proceso de soldadura por fusión más común por su sencillez y versatilidad es el llamado arco metálico protegido (SHIELDED METAL ARC WELDING). Su sencillez se deriva del hecho de que, con sólo un transformador de corriente, sus conexiones positiva y negativa y un electrodo en metal de aporte con cubierta de fundiente, se producen exitosamente soldaduras en aceros al carbono, aceros inoxidable, aluminio, cobre, níquel y sus aleaciones respectivas.

Haciendo un desglose de sus partes constituyentes, diremos que en lo que respecta al suministro de energía al arco metálico, se deben controlar tres variables: corriente, voltaje y la velocidad de aplicación de la soldadura.

En este proceso el soldador fija en la máquina la corriente deseada y mientras suelda, controla las velocidades de aplicación de la soldadura y la tensión del arco. Dado que el arco metálico se puede generar con corriente alterna y continúa, de polaridad directa o invertida.

Son acoplados a los transformadores, rectificadores de silicio o selenio para producir corriente continúa, tales equipos tienen interruptores para seleccionar el tipo de corriente requerida según las características del material a ser soldado.

Como se expresó anteriormente, de la forma como se conecten los

polos positivo y negativo, al utilizar corriente continua, a la pieza y al electrodo, se obtendrán diferentes tipos de deposición del material, así como velocidades de aplicación.

Si resumimos estas características tenemos que:

1.- Corriente continua con polaridad directa, significa, que la pieza está conectada al polo positivo de la máquina.

2.- El voltaje del arco aumenta con la longitud del mismo. Si el electrodo se acerca a la pieza, la caída de voltaje en el arco tiende a disminuir.

3.- La velocidad de deposición del metal de aporte aumenta con la corriente.

4.- La mayor penetración se logra con corriente continua de polaridad inversa, intermedia con corriente alterna y menor con polaridad directa.

El electrodo utilizado en este proceso, tiene una triple función; como conductor de la energía necesaria para la fusión, como metal de aporte y como conductor de energía; es lógico, ya que al ser una varilla metálica, se permite libre flujo de electrones, a la vez que el metal contenido en el electrodo, se va depositando en el metal base.

El electrodo es cubierto con un revestimiento de composición química variable, dependiendo de las características del metal o aleación a soldar; estas, son mezclas de materias orgánicas y

minerales que participan en forma importante durante la fusión y la solidificación de la soldadura, ya que actúan como estabilizadores del arco, escorificadores, depuradores del metal, desoxidante, suministro de aleantes al metal fundido y como productores de gases de protección.

El proceso de soldadura de arco metálico protegido, se inicia con la preparación adecuada de los bordes del metal a soldar; ya sea en forma de V, U, X, (Fig. 1.4); con su limpieza ; con la selección del tipo de corriente y con su polaridad, en el caso de la corriente continua; y por último la conexión de los polos positivos y negativos de la máquina.

El arco se establece, poniendo el electrodo en contacto con la pieza y separándolo de la misma inmediatamente, en ese momento se inicia la fusión del revestimiento del electrodo, formando una escoria viscosa, la cuál proporciona una cubierta protectora entre la atmósfera y el metal fundido; crea un medio químicamente reductor, que ayuda a prevenir que la humedad de la atmósfera penetre y genera un medio gaseoso que ayuda a mantener el flujo del metal fundido del electrodo a la pieza y aislar el metal fundido de la atmósfera. [3, 76]

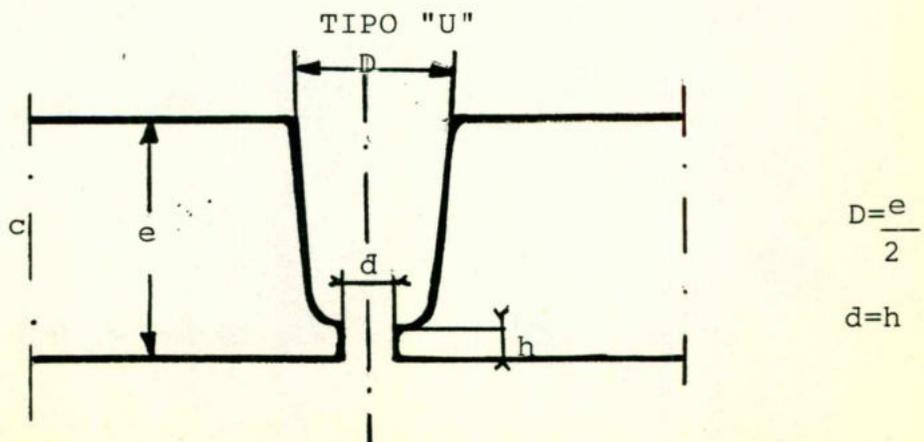
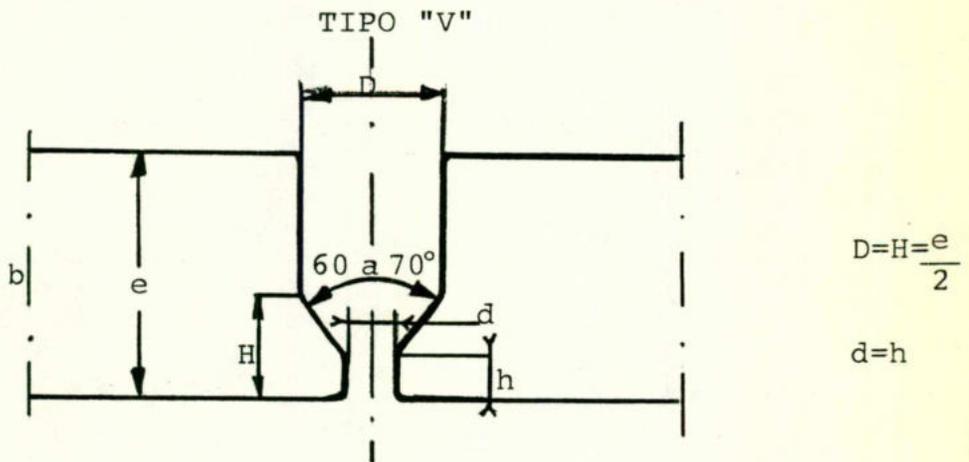
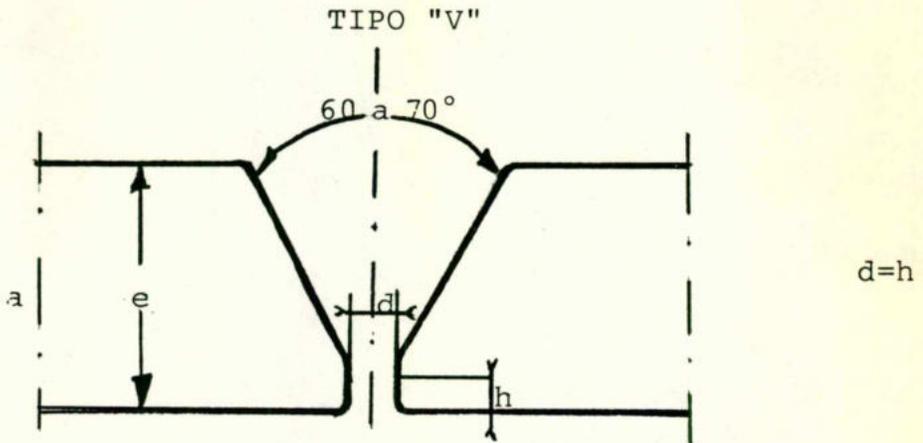
Dependiendo de la preparación efectuada en los bordes y del espesor de las partes a unir, se van depositando los cordones de soldadura que pueden ser desde uno hasta diez o quince.

Normalmente el primer cordón es recto y los últimos cordones se

FIGURA 1.4.

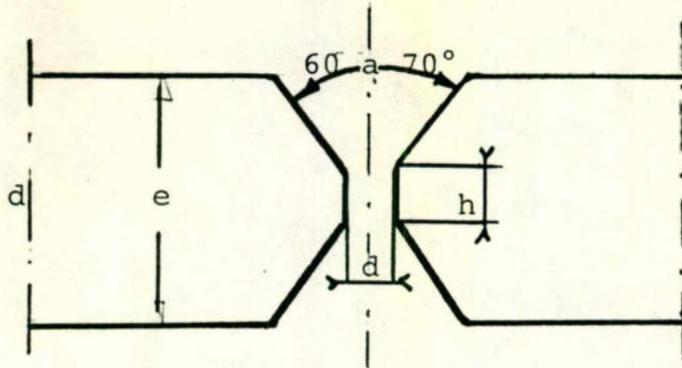
PREPARACION DE BORDES PARA UNION CON SOLDADURA

[3, 97-98]



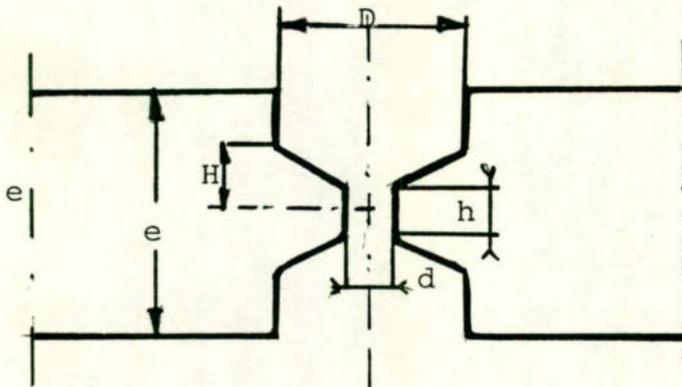
..b

TIPO "X"



$$h \geq d$$

TIPO "X"

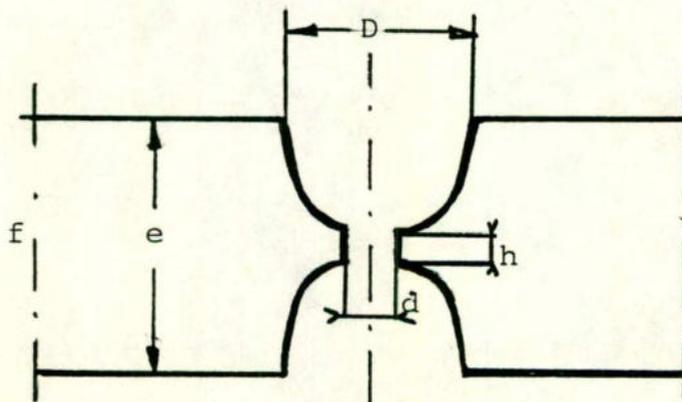


$$H = \frac{e}{4}$$

$$D = 0.6e$$

$$h \geq d$$

TIPO "X"



$$D = 0.6e$$

$$h \geq d$$

depositan en una forma oscilante, con el objeto de dar a la soldadura un acabado vistoso y liso.

De las partes que constituyen este proceso se hará una explicación detallada en capítulos posteriores, ya que este tipo de soldadura es el que se emplea ampliamente para la unión de la tubería durante la construcción de líneas de conducción de hidrocarburos.

1.2.3. SOLDADURA DE ARCO CON ELECTRODO DE TUNGSTENO PROTEGIDO CON GAS (TIG)

En este punto se hace referencia a una variante del proceso de soldadura mediante arco eléctrico denominada comúnmente TIG (Tungsteno-Inerte-Gas) o soldadura de arco con electrodo de tungsteno protegido con gas inerte.

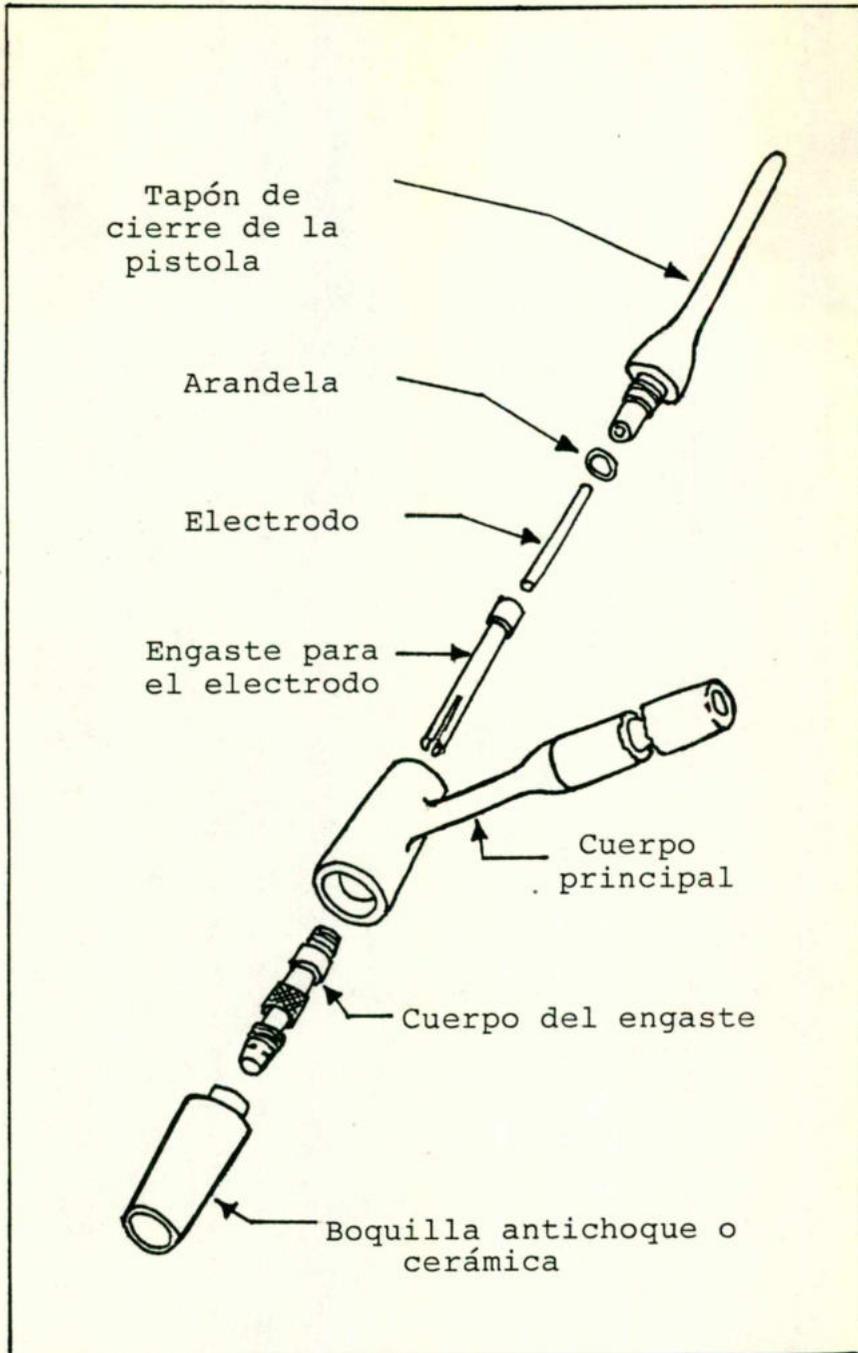
Este proceso establece un arco eléctrico para soldar una pieza utilizando el siguiente equipo:

- Pistola TIG,
- Transformador,
- Un gas inerte (helio o argón)
- Metal de Aporte

La pistola TIG, tiene la función propia de un porta electrodo de tungsteno y a la vez de boquilla para suministrar un gas inerte que protegerá el cordón de soldadura. Las características en la pistola, están en función de la corriente máxima que puede pasar a través de ella. Para una capacidad inferior, a 200 A, las pistolas van refrigeradas por aire; pero, para mayores corrientes, se refrigeran con agua.

En la figura 1.5, se muestra una pistola típica del proceso TIG. El electrodo de tungsteno se sujeta a la pistola por medio de un engaste cuyos diámetros, tanto del tubo interior que sostiene directamente al electrodo como el exterior que

FIGURA 1.5 [5, 246]



presiona sobre el primer tubo se dimensionan para que ajusten a los diámetros estándar de los electrodos de tungsteno. Al chorro de gas se le da la forma adecuada por medio de una boquilla situada en el extremo de la pistola. Estas boquillas se fabrican de metal o de material cerámico. Aunque las de cerámica, estén sujetas a roturas accidentales, son utilizadas para corrientes inferiores a 300 A en zonas limitadas donde podría ocurrir la formación de un arco si se empleara una boquilla metálica. Estas últimas son algo más fáciles de mantener limpias y se pueden refrigerar por agua, para elevadas corrientes. Para reducir la turbulencia del gas, que es una causa de succión de gases atmosféricos hacia el interior del arco, se puede frenar el gas a su paso por la boquilla. Esto se consigue colocando en ésta una malla de alambre muy fino.

El suministro de energía para la soldadura TIG, es mediante un transformador con una relación voltaje-amperaje descendiente, igual a la soldadura de arco revestido normal. Estos transformadores, pueden proporcionar corriente alterna, corriente continua con polaridad directa y corriente continua con polaridad inversa, ya que tienen un dispositivo para seleccionar el tipo de corriente que se desee utilizar dependiendo del material a soldar.

El uso de un gas inerte como protección del metal fundido nos permite obtener una soldadura de alta calidad, que se puede aplicar en cualquier posición y ángulo, se evita el trabajo de

quitar la escoria de la costura y si el material es de bajo espesor, puede soldarse sin metal de aporte.

Como gas protector se puede utilizar el argón o el helio. El argón se emplea ampliamente debido a que al compararlo con el helio, tiene las siguientes ventajas:

- 1.- Voltaje de arco más bajo, debido a su menor potencial de ionización;
- 2.- Menos requisitos para proteger adecuadamente la soldadura;
- 3.- El inicio del arco es más fácil;
- 4.- Mejor limpieza de óxidos refractarios debido a su mayor densidad;
- 5.- Menos costo.

Para el caso de la soldadura de materiales de gran espesor y de elevada conductividad térmica, generalmente se utiliza el helio ya que permite una mayor aporte de calor para dar mayor penetración a la soldadura. En algunos casos se mezclan ambos gases para lograr una combinación de sus características que favorezcan la mejor aplicación de la soldadura.

El flujo del gas protector debe ser el adecuado para proteger el metal fundido de la contaminación del medio. El flujo dependerá del tipo de material; si es muy reactivo, se utiliza un flujo mayor de gas; si se requiere de una gran cantidad de corriente, es necesario utilizar una pistola de

mayor tamaño con una boquilla que permita un mayor flujo de gas.

El metal de aporte, en forma de varilla, se selecciona en base al material a soldar, pudiéndose utilizar varillas de 3/64 (1.2 mm) y 1/16 (1.6 mm) para soldar aceros al carbono.

El proceso TIG, se puede describir de la siguiente forma:

Si se desea soldar a tope una pieza de acero al carbono de 3/32" (2.4 mm) se selecciona una corriente continua de polaridad directa de 100-150 A, un electrodo de tungsteno de 3/32" (2.4 mm), un flujo de argón en la boquilla de 13 ft/hr (6.1 lts/min), una varilla de aporte de 1/16" (1.6mm) y un diámetro de boquilla de 3/8" (9.6 mm). [5, 298]

El operador sostiene la pistola TIG con una mano y la varilla del metal de aporte con la otra. El arco es iniciado o cebado empleando un incremento en la tensión de unos 165 V cuando el electrodo se acerca a la pieza, después de iniciado el arco, el sobre voltaje se desconecta y la máquina retorna a su voltaje normal de circuito abierto para soldar, que es de 75 a 80 V. Se puede hacer un cebado por contacto, de manera similar al arco normal, pero es una práctica no muy recomendable ya que se puede contaminar el electrodo de tungsteno o bien el electrodo puede perder material, quedando partículas de tungsteno en la soldadura.

Ya que se estableció el arco se va depositando el metal de

aporte para formar el cordón de soldadura en uno o varios pasos, según las características de la pieza. Es muy importante no cortar el suministro de gas hasta que el electrodo de tungsteno y el cordón de soldadura se hayan enfriado hasta una temperatura conveniente.

El proceso TIG, permite el uso de accesorios para hacerlo automático o semi-automático, empleando una varilla de aporte enrollada en un carrete que alimenta continuamente al arco formado entre el metal a soldar y la pistola TIG.

En la construcción de líneas de conducción tiene muy poco uso este tipo de soldadura, debido a que no es recomendable para trabajos fuera de talleres o en zonas con corrientes de aire, debido a las características propias del proceso; no obstante se hace referencia del mismo, debido a su importancia al ser utilizado para soldar desde fundiciones hasta aluminio, con buenos resultados.

1.2.4. SOLDADURA DE ARCO PROTEGIDO CON GAS (MIG)

El proceso de soldadura MIG, (Metal-Inert-Gas) o soldadura con gas inerte, es una variante semi-automática del principio de soldadura con arco, en el cuál se utiliza una pistola especial, como en el caso del TIG; una fuente de energía para formar el arco, un gas inerte de protección y un alambre de material de aporte que es alimentado al arco en forma de electrodo consumible.

La pistola para soldadura MIG, semi-automática, puede ser enfriada con aire o con agua, mediante la misma, se conduce el alambre de alimentación hacia el arco a través de una boquilla guía, en la que el alambre toma la corriente. El contacto entre la boquilla y el alambre, debe ser bueno, pues los voltajes utilizados son demasiado bajos para superar una resistencia de contacto demasiado elevada. Junto a la boquilla del electrodo, se tiene la boquilla para la salida del gas inerte. La mayoría de las pistolas MIG, poseen culatas y gatillo; algunas van equipadas con un control para impulsar el alambre lenta y continuadamente. Cuando se aprieta el gatillo, se inicia el paso simultáneo de gas protector, corriente, agua de enfriamiento y alambre, al soltarlo la corriente y el electrodo se detienen, pero el gas continúa fluyendo durante un tiempo mientras se enfría el cordón de soldadura.

Las fuentes de energía para este proceso, son generalmente del tipo de potencial constante; aunque pueden usarse algunas máquinas soldadoras convencionales (para electrodo revestido), sin embargo, en estos procesos dichas máquinas no tienen usualmente la capacidad necesaria para generar las altas corrientes que se requieren y además la mayor parte de las veces los tiempos de trabajo son relativamente largos, por lo que es necesario un ciclo de trabajo muy alto.

Las fuentes de energía pueden ser del tipo transformador, rectificador o generadores rotativos, impulsados por motores eléctricos o por motores de combustión interna.

La soldadora de potencial constante, no tiene un control de corriente como lo tienen las máquinas para soldar con electrodos revestidos. Sin embargo, tienen un control del voltaje del arco y algunas de ellas, controles para la corriente y para la inductancia, con el fin de lograr mayor estabilidad en el arco. Generalmente, se incluye también un pequeño transformador que proporciona energía monofásica a 115 volts, para la operación del equipo auxiliar, tal como el alimentador del alambre, las válvulas solenoides para el gas, etc.

Las fuentes de energía de potencial constante bien diseñadas, están provistas de un contactor magnético primario interconstruido ; la razón es que, aunque los equipos

auxiliares estén funcionando, el voltaje y la corriente para soldar, no llegarán al alambre hasta el momento en que se acciona el gatillo de la pistola soldadora. Este es un dispositivo de seguridad que ayuda a evitar lesiones en la vista del operador, causadas por flamazos involuntarios.

Para el proceso MIG, se utilizan el argón, helio o sus mezclas con CO_2 dependiendo de la reactividad y espesor del material. El helio y el argón, son los dos únicos gases que protegen satisfactoriamente a los metales reactivos como el magnesio, aluminio, titanio y circonio. El helio, es el más adecuado para la soldadura de grandes espesores ya que tiene un elevado voltaje de arco; el argón se utiliza en espesores pequeños. El argón, produce un cordón más estrecho que el helio y proporciona una mayor penetración. Para la soldadura del acero se añaden oxígeno o bióxido de carbono al gas inerte. Esta mezcla es debido a que cuando se suelda el acero al carbono con argón y una polaridad inversa, es muy fuerte la tendencia a producirse socavados y quemaduras en el metal base. En virtud de ello, se adicionan gases reactivos para estabilizar el arco, se reducen las proyecciones de material y se disminuye el socavado de la soldadura. Normalmente, estas mezclas se hacen en campo, regulando el flujo de cada gas y mezclándolo con conexiones "Y" antes de llegar a la pistola.

La buena operación de un sistema de soldadura MIG, depende de una alimentación suave y uniforme del alambre. Los

alimentadores para el alambre de soldar, pueden obtenerse en muchas variedades eléctricas y mecánicas. Casi todos los alimentadores de alambre tienen un motor impulsor que puede ser de corriente alterna o corriente continua y que están generalmente acoplados a un reductor de velocidad que acciona los rodillos impulsores para el alambre. Los controles para purga, la válvula para el gas y los medidores de consumo de alambre, están incluidos en el alimentador de alambre. Muchos de estos alimentadores pueden equiparse con controles de tiempo que permiten establecer el arco durante un período determinado.

En el proceso MIG, se puede utilizar alambre de aporte macizo de acero desnudo con protección de CO_2 . Se puede usar también alambre con núcleo de fundente en vez de alambre macizo con protección de CO_2 , obteniéndose un mejor aspecto de la soldadura y menos proyecciones del material; se obtiene además, mejores soldaduras si el metal base está sucio u oxidado. El diámetro del alambre utilizado va de 0.030" (0.76 mm) a 0.062" (1.58 mm). Ya en la práctica, el proceso MIG es el que mantiene más concentrado el material que se está transfiriendo a través del arco. El tipo de transferencia de la varilla o alambre de aporte, depende del valor de la corriente. A bajas corrientes, la transferencia se realiza mediante glóbulos o gotas grandes. Cuando la corriente aumenta, estas gotas se reducen progresivamente hasta que a una cierta corriente de

transición, que depende del material y diámetro de la varilla, la transferencia se efectúa en finas gotitas o pulverización. De aquí que para materiales de espesor igual o mayor a 3/32" (2.4 mm), se utiliza la transferencia por pulverización o "spray" con un voltaje de 25 a 32 V y para materiales de bajo espesor, se hace la transferencia con glóbulos o gotas grandes con un voltaje de 15 a 22 V.

La mayor parte de los equipos MIG, son semi-automáticos, necesitando máquinas con un factor de servicio del 100%, con corriente continua de polaridad invertida y potencial constante. Comúnmente se tiene que; a una varilla muy fina de material de aporte con 0.030" (0.76 MM) de diámetro se le aplica un amperaje de 200 A. Si consideramos que 200 A es el límite de la intensidad para un electrodo común con 3/16" (4.8MM) de diámetro tenemos que, el proceso MIG proporciona una velocidad de fusión elevada a la varilla, que alcanza hasta 2.5 M/min (100 pulg/min). A tal velocidad de fusión, la varilla no puede ser aportada manualmente, de ahí que se incorporen los dispositivos necesarios para suministrar la varilla en una forma semi-automática.

En virtud de esta característica, se utiliza frecuentemente en la construcción de líneas de conducción por tubería, ya que cuando se desea soldar tubos de grandes espesores y diámetros, el proceso MIG ha demostrado ser muy confiable y de alto rendimiento, toda vez que la cantidad de soldadura que ha de ser

aplicada a tubo de tales características, es muy grande y el uso de un proceso semi-automático es lo ideal para dar una mayor producción de soldadura que la que se obtiene con un electrodo revestido, aplicado manualmente.

2.

EQUIPO DE SOLDADURA

Como se expresó anteriormente el uso del proceso de arco eléctrico con electrodo revestido, en la construcción de líneas de conducción de hidrocarburos se debe a la sencillez del equipo y a los buenos resultados que se obtienen mediante este proceso en lo que se refiere a la calidad de la soldadura y a su volumen de producción.

La figura 2.1., esquematiza el equipo empleado en este proceso.

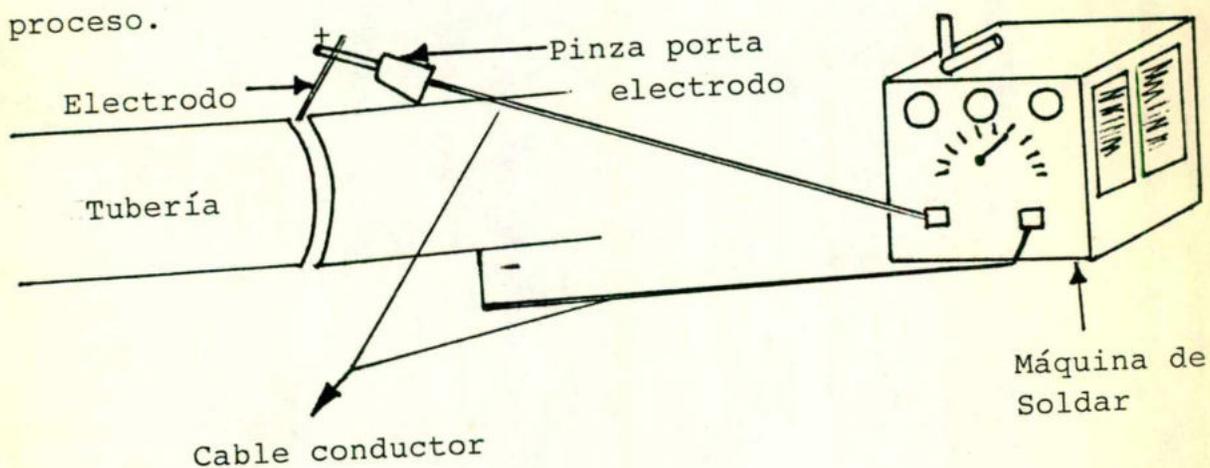


FIGURA 2.1.

[13, 10]

Las máquinas de soldadura pueden ser transformadores o motores generadores, trabajando a bajos voltajes y altas corrientes. Todas las máquinas se dimensionan por su factor de marcha, mismo que está en función directa de la corriente, tal factor se establece ensayando durante intervalos consecutivos de 10

minutos, determinándose los minutos que carga el equipo y los minutos que debe permanecer desconectado.

Si una máquina se dimensiona con 300 A y un factor de marcha del 60%, el equipo está garantizado para suministrar 300 A durante 6 minutos consecutivos, sí después de transcurrido ese tiempo se le permite un descanso de 4 minutos. Después del descanso, podrá volver a suministrar 300 A durante otros 6 minutos, por cuatro de descanso.

El factor de marcha se aplica sólomente en intervalos de 10 minutos. Esto es, un factor de marcha del 60% no significa 36 minutos de carga en cada hora, seguidos de un descanso de 24 minutos. Un factor nominal del 60% es el apropiado para la soldadura manual, ya que un soldador en el desempeño de sus labores, rara vez puede obtener en 10 minutos más de 6 minutos de trabajo con el arco, debido a que debe suspender la aplicación de la soldadura para cambiar el electrodo, limpiar la escoria, alinear el tubo, cambiar de posición y otras interrupciones.

En la manufactura de la tubería, cuando tiene costura longitudinal, son necesarias máquinas calculadas para trabajar al 100%, en virtud que en las plantas productoras se utilizan procesos automáticos o semi-automáticos en donde se trabajan más de 6 minutos de arco o se realiza la aplicación del cordón de soldadura en forma ininterrumpida.

La máxima corriente que un soldador puede obtener de una máquina, esta limitada por la elevación de temperatura, en el interior de la misma. Esta elevación aumenta con el cuadrado de la corriente, ya que la potencia es igual a I^2R . Esta relación es la base para determinar la máxima corriente que la máquina puede suministrar con un factor de marcha distinto al nominal. La fórmula es la siguiente: [5, 236]

$$\frac{Tr}{Tn} = \frac{(In)^2}{(Ir)^2}$$

Dónde:

Tr= Factor de marcha nominal,

Tn= Factor de marcha nuevo,

Ir= Corriente nominal,

In= Corriente máxima con el nuevo factor de marcha

Por ejemplo: un equipo de 300 A con un factor de marcha del 60%, se utiliza para soldar tubería y considerando que la operación de marcha es del 100%, cuánta corriente se obtiene de dicha máquina.

Substituyéndolo en la fórmula tenemos que:

$$\frac{60}{100} = \frac{In^2}{(300)^2}$$

De ahí que: $In=232$ A

De lo anterior podemos establecer que el equipo puede

suministrar trabajando al 100% de marcha, el 75% de la corriente estipulada al 60%.

Las máquinas de soldadura más recientes, cuya potencia de servicio pudiera ser sobrepasada, disponen de un termostato que corta la corriente de soldadura, mientras que se mantiene trabajando un ventilador de enfriamiento. Cuando la máquina se ha enfriado a una temperatura a la que no corre peligro, el termostato cierra de nuevo el circuito de soldadura, pudiéndose continuar con el trabajo.

Como es lógico, durante la construcción de líneas de conducción se efectúa la producción de la soldadura en zonas que no cuentan con suministro de energía eléctrica. De ahí que es indispensable utilizar máquinas generadoras, impulsadas por un motor, pueden ser utilizados motores Diesel o de Gasolina, prefiriéndose el uso de los motores Diesel; por ser más seguros, por tener un mayor rendimiento, ser un combustible más barato y tener un costo de mantenimiento menor a los motores de Gasolina.

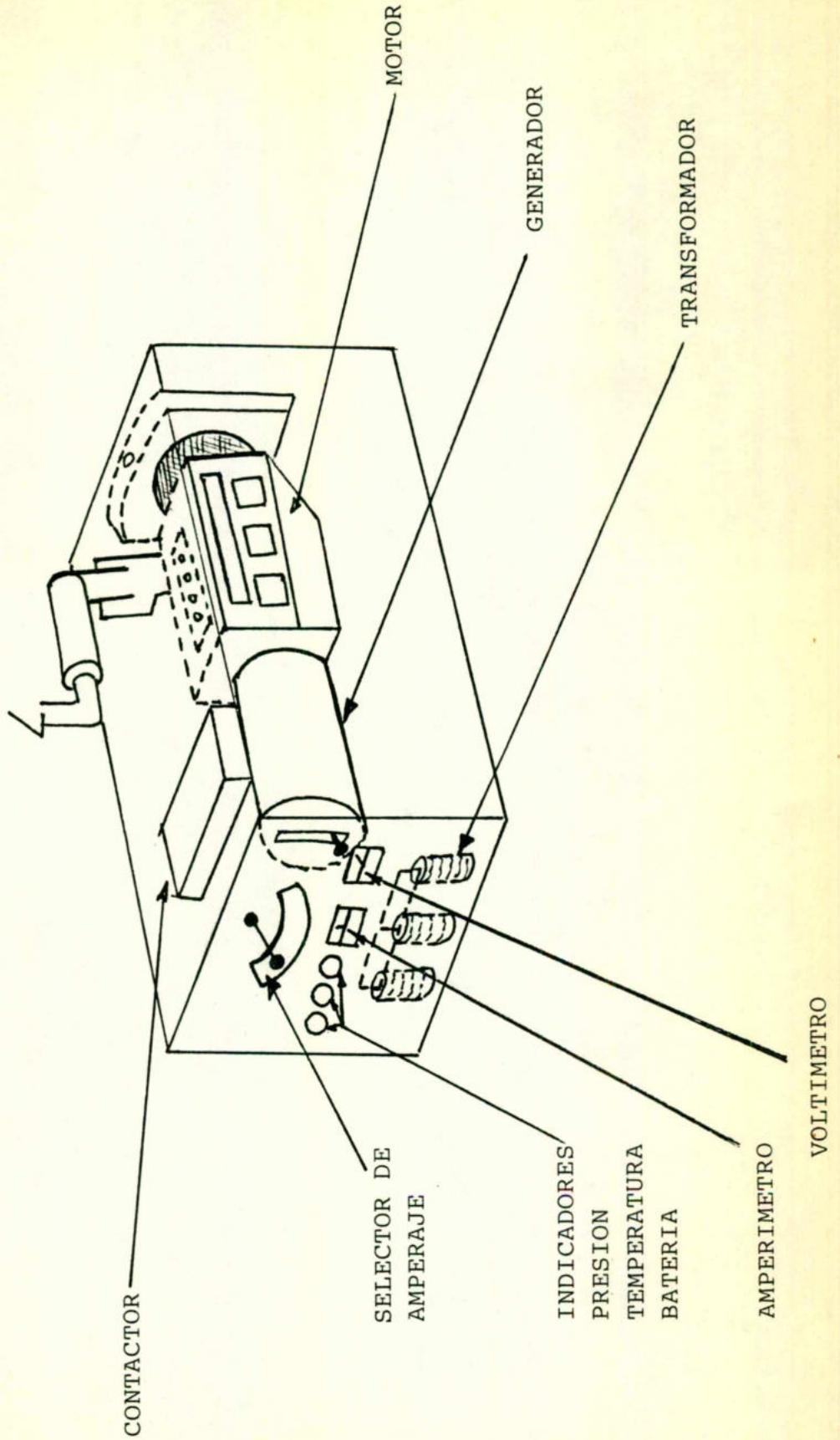
La figura 2.2, muestra las partes que constituyen una máquina de soldar común en la soldadura de líneas de tubería. Esta consiste en: un motor, un generador, un contactor y un transformador.

El equipo produce energía eléctrica que puede ser transformada para el suministro de corriente alterna o rectificadas, para

FIGURA 2.2.

[13, 22]

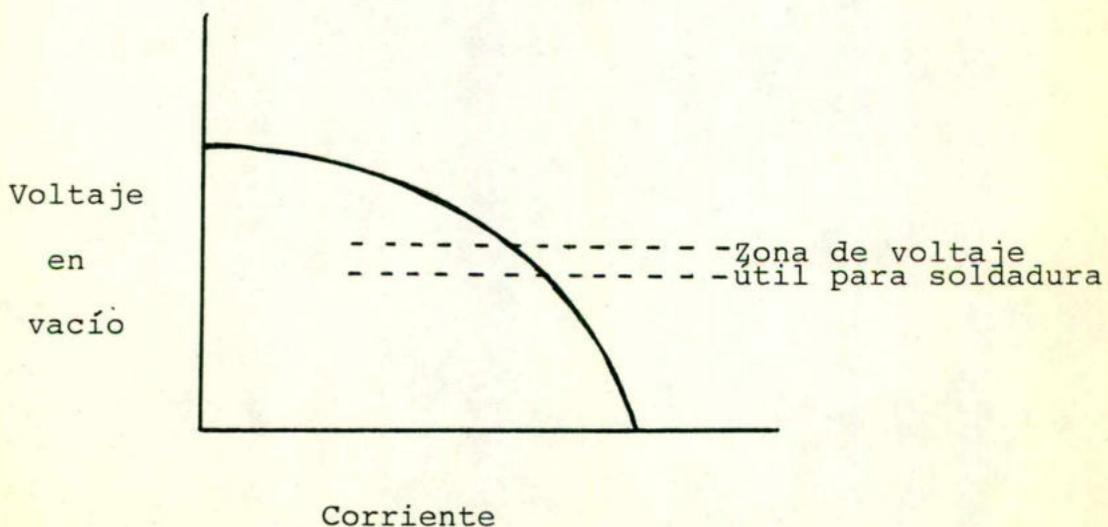
PARTES QUE CONSTITUYEN UNA MAQUINA DE SOLDAR



producir corriente continua, el voltaje se mantiene bajo y la corriente se regula mediante un selector de amperaje, ubicado en el panel de control.

En este proceso, el soldador controla el voltaje, variando la longitud del arco, distancia entre la pieza y el electrodo, generalmente, mantiene el arco tan corto como le es posible, al rededor de 1/8" (3mm). Un arco corto con una corriente adecuada, produce una crepitación aguda, síntoma de un arco bien establecido, sin embargo, el soldador no puede mantener una longitud uniforme del arco en forma constante, ya que el electrodo se acorta continuamente. Para tales condiciones, se utiliza una máquina de corriente constante. Estas máquinas tienen una característica voltios-amperes descendentes como se muestra en la figura 2.3. [5, 240]

FIGURA 2.3.



Esta característica desciende desde el voltaje a circuito abierto, de modo que cualquier variación en el voltaje del arco produce sólo una ligera variación en la corriente.

Si se mantienen estas condiciones, se tienen las siguientes propiedades en el arco.

1.- Bajo voltaje a circuito abierto

2.- Variaciones pequeñas de corriente para cambios relativamente grandes de voltaje.

3.- Corrientes bastante bajas durante el corto circuito provocado para iniciar el arco, evitando así daños al equipo y la corriente se mantiene muy cerca del valor a que se haya ajustado la máquina.

Ya que, entre la salida de corriente de la máquina y la pieza a soldar, se tiene el cable y las piezas porta electrodo, debemos considerar las caídas de voltaje debidas a la resistencia y a la reactancia del cable. La reactancia, cuando se trabaja con corriente alterna, se aminora colocando los dos cables unidos para que así cada uno anule el campo magnético del otro. Una caída de voltaje de 4 V es el máximo recomendado.

La tabla 2.1 nos muestra el calibre del cable de cobre a utilizar, dependiendo de la corriente y la longitud del cable.

Existen otras causas para la caída de tensión debidas a la conexión entre las máquinas y las piezas. Algunas de ellas son las siguientes:

TABLA 2.1
[5, 241]

CALIBRE DE LOS CONDUCTORES DE COBRE RECOMENDADAS PARA SOLDEO CON C.C. *

[Distancia desde la máquina en pies (m)]

AMP.	50 (15,25)	75 (23,8)	100 (30,5)	150 (45,6)	200 (61)	250 (76)	300 (91,5)	400 (122)
100	2	2	2	1	0	00	00	0000
150	2	2	1	00	000	0000		
200	2	1	0	000	0000			
300	1	0	000	0000				
350	0	00	0000					
400	00	000						
500	00	0000						
600	000							

* Para corriente alterna, tómese el calibre inmediato superior para tener en cuenta los efectos de reactancia

- 1.- Rotura de cable
- 2.- Conexiones Flojas
- 3.- Mal contacto entre el electrodo y la pieza porta electrodo, debido a polvo u oxidación.
- 4.- Uso de una pinza inadecuada. La pinza debe corresponder a la cantidad de corriente utilizada.
- 5.- Mal contacto entre el cable y la zapata de la máquina.
- 6.- Consumir demasiado el electrodo, lo que provoca el sobre-calentamiento de la pinza, elevando su resistencia.

2.2. ELECTRODOS

Un electrodo revestido, está constituido por un alma metálica de forma cilíndrica y de un revestimiento de composición química variable, según las características requeridas. La figura 2.4., nos muestra las dimensiones de un electrodo revestido típico.

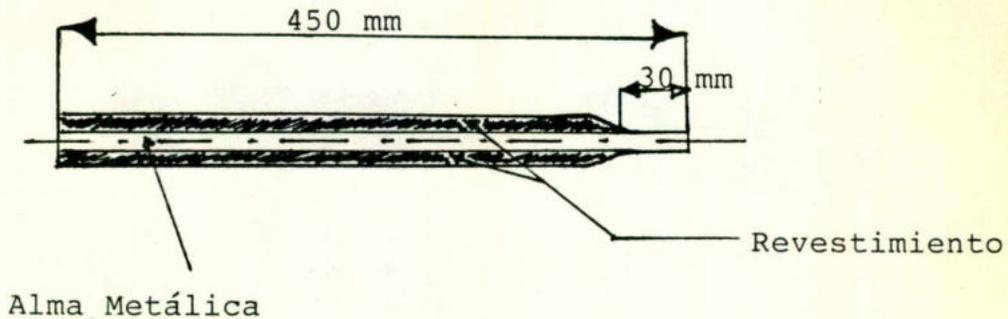


Fig. 2.4.

[2, 79]

El alma metálica cumple la función de aportar el metal necesario para la soldadura de las piezas a unir.

El revestimiento, por su parte realiza un gran número de funciones que se pueden agrupar de la siguiente forma:

- I Función eléctrica del revestimiento
- II Función física de la escoria formada por el revestimiento
- III Función metalúrgica del revestimiento

I Función eléctrica del revestimiento.- El revestimiento,

juega un papel importante en la obtención de la estabilidad del arco, ya que introduce al circuito una resistencia que se opone a las variaciones rápidas de la corriente. Como hemos visto, la existencia del arco depende del estado de ionización en los gases existentes entre el ánodo y el cátodo.

El arco metálico también presenta inestabilidad, debido al hecho de que la resistencia disminuye cuando la intensidad del arco aumenta.

Para el arco de corriente alterna es indispensable un medio altamente ionizado; de allí que se deba utilizar un revestimiento de sales con baja tensión de ionización y un elevado poder termoiónico como las sales de sodio, potasio y bario. La acción de estas sales, es más importante conforme la concentración del metal es más alta, y primordial en la soldadura con arco de corriente alterna. Por ejemplo, es materialmente imposible a una tensión tan baja como 60 V iniciar el arco entre un metal pulido y un electrodo metálico desnudo, pero un simple vestigio de cloruro de sodio sobre la placa permite el inicio del arco. Otros compuestos como los silicatos, carbonatos y óxidos de hierro, óxidos de titanio y torio, etc., son agentes que favorecen el establecimiento y estabilidad del arco.

El revestimiento, desde el punto de vista de su función eléctrica es muy importante para la puesta a punto de los electrodos que deben funcionar con corriente alterna. Para los

electrodos de corriente continua esta función tiene una importancia menor, ya que la alta temperatura del cátodo conserva la ionización del medio en el cual se produce el arco y éste permanece estable, por el contrario, para la corriente alterna, el arco se apaga en cada período, siendo necesario facilitar su reinicio empleando sales susceptibles de desprender vapores ionizantes.

II Función física del revestimiento.- Para la ejecución de soldadura en distintas posiciones; vertical, horizontal y sobre la cabeza, se deben conjuntar dos elementos: La naturaleza del revestimiento, que determina la viscosidad de la escoria, y el espesor del mismo. Fig. 2.5.

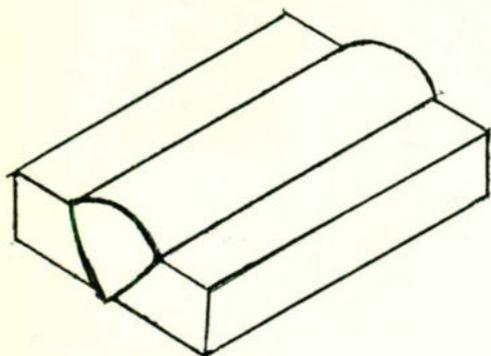
La ejecución de las soldaduras en diferentes posiciones no puede realizarse a no ser que la gota fundida sea arrastrada por los gases producidos por el revestimiento y que la escoria fundida mantenga la gota depositada en su sitio. Esto último, en función de la tensión capilar de la escoria líquida. [2,81]

La influencia de la viscosidad de las escorias en la soldadura, se hace notoria no sólo por la deposición fácil del material de aporte en distintas posiciones, sino también para la protección del metal fundido.

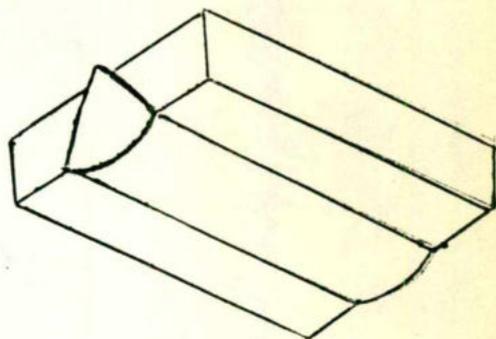
Dependiendo de las necesidades que se tengan, se seleccionan los revestimientos desde el punto de vista de su viscosidad en función de la temperatura del proceso.

FIGURA 2.5.

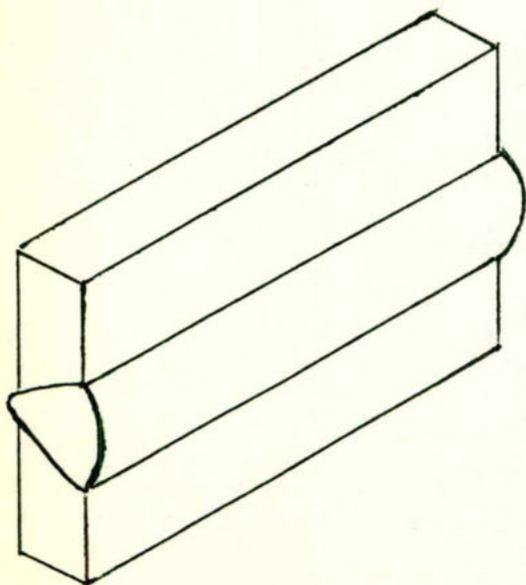
[10, 129]



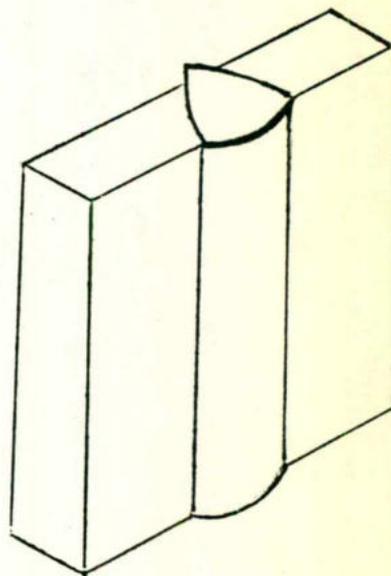
POSICION PLANA



POSICION SOBRE CABEZA



POSICION HORIZONTAL



POSICION VERTICAL

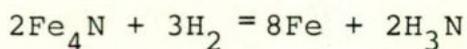
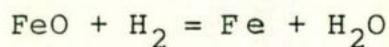
La figura 2.6., nos muestra el comportamiento de diferentes revestimientos.

III Función metalúrgica del revestimiento.- Debemos esperar que los electrodos confieran al proceso de soldadura las siguientes características: ser capaces de desoxidar el metal fundido, facilitar el desprendimiento de los gases atrapados, proteger el metal fundido y suministrar elementos aleantes.

Para conferir estas características a la soldadura los electrodos se han clasificado de la siguiente forma:

a) Electrodos volátiles.- Están constituidos por celulosa ($C_6H_{10}O_5$) que proporciona, por descomposición, una mezcla de gases reductores, sobre todo de hidrógeno. La función protectora y reductora de este revestimiento está asegurada por el desprendimiento de hidrógeno, quedando muy poca escoria sólida por encima del metal.

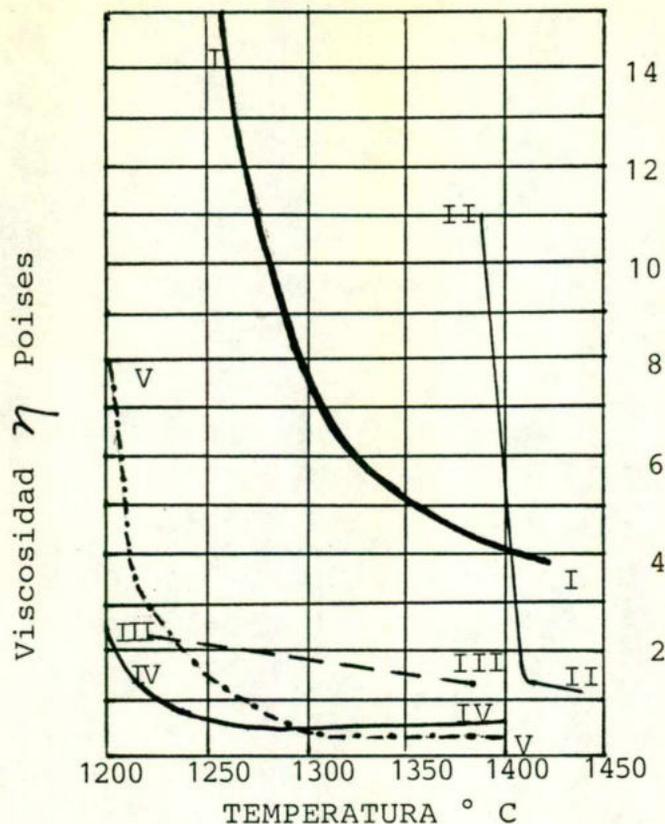
Estos electrodos permiten la soldadura en todas las posiciones, obteniéndose una buena penetración gracias a la reacción exotérmica del hidrógeno. El afinado del metal por la acción del hidrógeno sigue la siguiente reacción.



b) Electrodos ácidos.- Revestimientos constituidos principalmente por óxidos de hierro (Fe_3O_4 , Fe_2O_3), de silicio y de manganeso.

FIGURA 2.6

[2, 81]



CURVAS I y V .- Escorias de revestimiento ácido

CURVA II .- Escoria de revestimiento a base de rutilio para soldadura horizontal

CURVA III .- Escoria de revestimiento a base de rutilio para soldadura en posición

CURVA IV .- Escoria de revestimiento básica

Las escorias dadas por estos revestimientos son vidrios o silicatos de hierro o hierro y manganeso.

La protección del metal fundido se obtiene mediante una escoria espesa que lo recubre completamente.

La adición del manganeso, en forma de ferro-manganeso, tiene por objeto por una parte, actuar sobre la fluidez de la escoria y por otra la de fijar este elemento en el metal fundido.

Utilizando estos revestimientos, se obtiene un arco muy estable que puede usarse con corriente continua o alterna a bajas tensiones de cebado y de trabajo, 30-40 V y 25 V respectivamente. La protección del metal fundido es mayor conforme más volúmenes se tengan de escoria, es decir, el revestimiento sea más espeso.

c) Electrodo a base de óxido de titanio.- estos electrodos pueden tener recubrimiento de ilmenita (50% TiO_2 50% Fe_2O_3) o rutilo (95% TiO_2).

El óxido de titanio interviene principalmente como formador de escoria y como elemento estabilizador del arco, ya sea de corriente continua o alterna.

Estos electrodos son utilizados en todas las posiciones y dan un cordón plano o ligeramente abombado en soldadura vertical.

d) Electrodos básicos.- revestimientos constituídos

principalmente por carbonatos de calcio y de magnesio, complementados con agentes desoxidantes como el manganeso, silicio y titanio.

Se obtienen escorias del tipo $\text{CaO-SiO}_2\text{-FeO}$. Este tipo de electrodos dan una soldadura de alta calidad, alcanzando una resistencia y un porcentaje de elongación muy elevado.

Durante la fusión, estos revestimientos producen una micrometalurgia con la fijación de los elementos metálicos que lo contienen en el metal fundido, de tal forma que puede obtenerse, con la adición de aleantes como el manganeso, níquel, cromo, molibdeno, etc., soldaduras de alta resistencia mecánica.

Los electrodos básicos son los más difíciles de emplear, presentando el cordón de soldadura, un aspecto más abombado que en el caso de los electrodos ácidos. El empleo de corriente continua, requiere el invertir la polaridad es decir, el polo positivo en el electrodo; para la corriente alterna, la tensión de inicio del arco debe ser superior a los 65 V.

En base a lo anterior y considerando las propiedades mecánicas del metal de soldadura depositado y el tipo de corriente utilizada, la AWS, (American Welding Society), establece la clasificación de los electrodos como serie E 60 con una resistencia a la tensión mínima del metal depositado de 60,000

lbs/pulg², y como serie E 70 con una resistencia a la tensión mínima del metal depositado de 70,000 lbs/pulg², la cual se indica en la tabla 2.1.

El sistema de clasificación de la AWS, utiliza el símbolo E, para designar al electrodo, los dos primeros dígitos, por ejemplo 60, indican la resistencia mínima a la tensión en miles de lbs/pulg del metal depositado como soldadura, el tercer dígito, indica la posición en la cual el electrodo es capaz de producir soldaduras satisfactoriamente, de tal forma el número 1, como es el caso del E 6010, significa que el electrodo proporciona resultados satisfactorios en todas las posiciones (plana, vertical, sobre la cabeza y horizontal).

El número 2, como en el E 6020, indica que el electrodo es adecuado para soldaduras en posición plana y para hacer filetes de soldadura en posición horizontal. El último dígito de la clasificación, indica la corriente que debe ser utilizada con el electrodo y el tipo de revestimiento sobre el electrodo, tal como se muestra en la tabla.

De los electrodos mencionados los que son utilizados comúnmente en la construcción de líneas de tubería son el E 6010 y el E 7010 los mismos están diseñados para producir las mejores propiedades mecánicas, con buenas características de uso.

El núcleo del alambre para todos los electrodos indicados, tienen una composición tipo 0.03% de azufre, 0.02% de fósforo y 0.01% de silicio.

TABLA (2.1.)
[13, 48]

CLASIFICACION DE ELECTRODOS

SERIE E 60

CLASIFICACION AWS	TIPO DE REVESTIMIENTO	POSICIONES DE APLICACION DE SOLDADURA SATISFACTORIAMENTE	TIPO DE CORRIENTE
E 6010	CELULOSA ALTO SODIO	PLANA (P), VERTICAL (V), SOBRE LA CABEZA (SC), HORIZONTAL (H). P, V, SC, H.	C.D. POLARIDAD INVERTIDA
E 6011	CELULOSA ALTO POTASIO		C.A. O C.D. POLARIDAD INVERTIDA
E 6012	RUTILO ALTO SODIO	P, V, SC, H.	C.A. O C.D. POLARIDAD DIRECTA
E 6013	RUTILO ALTO POTASIO	P, V, SC, H.	C.A. O C.D. CUALQUIER POLARIDAD
E 6020	HIERRO ALTO OXIDO	FILETE HORIZONTAL (FH) P	C.A. O C.D. POLARIDAD DIRECTA C.A. O C.D. CUALQUIER POLARIDAD
E 6027	POLVO DE HIERRO, OXIDO DE HIERRO	F H P	C.A. O C.D. POLARIDAD DIRECTA C.A. O C.D. CUALQUIER POLARIDAD
E 7014	POLVO DE HIERRO, RUTILO	SERIE E 70 P, V, SC, H.	C.A. O C.D. CUALQUIER POLARIDAD
E 7015	HIDROGENO BAJO SODIO	P, V, SC, H.	C.D. POLARIDAD INVERTIDA
E 7016	HIDROGENO BAJO POTASIO	P, V, SC, H.	C.A. O C.D. POLARIDAD INVERTIDA
E 7018	POLVO DE HIERRO, BAJO HIDROGENO	P, V, SC, H.	C.A. O C.D. POLARIDAD INVERTIDA

CLASIFICACION ASW	TIPO DE REVESTIMIENTO	POSICIONES DE APLICACION DE SOLDADURA SATISFACTORIAMENTE	TIPO DE CORRIENTE
E 7024	POLVO DE HIERRO, RUTILO	FH, P	C.A. O C.D. CUALQUIER POLA- RIDAD
E 7029	POLVO DE HIERRO, BAJO HIDROGENO	FH, P	C.A. O C.D. POLARIDAD INVER- TIDA

En todas las posiciones de soldadura se obtiene una penetración profunda, con plena fuerza, se produce un arco tipo aspersion con una escoria frágil, que parece no cubrir completamente el cordón de soldadura. Los revestimientos son altos en celulosa, usualmente el 30% en peso, se adicionan; rutilo, desoxidantes como ferro manganeso o silicatos de aluminio y silicatos de sodio.

Su uso en la soldadura de tubería de línea es debido a la alta calidad del cordón de soldadura que se obtiene al aplicarse en pasos múltiples, en posiciones vertical y sobre la cabeza.

La tabla 2.2., nos muestra las características dimensionales y límites de corriente de los electrodos E 6010 según su diámetro.

En vista de los efectos nocivos que el hidrógeno puede tener en la soldadura, y considerando que una fuente potencial de este hidrógeno es la humedad en los revestimientos del electrodo, es necesario almacenarlos en sus empaques originales sin abrirlos o mantenerlos en hornos de almacenamiento a temperaturas que van de los 30 a los 250°F por arriba de la temperatura ambiente, según el tipo de electrodos.

TABLA 2.2
[13, 53]

CARACTERISTICAS ELECTRODOS E 6010

Diámetro del Núcleo del alambre (pulgadas)	Longitud Estándar (pulgadas)	Límite de corriente (amperes)

3/32 (0.094)	12	40-80
1/8 (0.125)	14	75-125
5/32 (0.156)	14	110-170
3/16 (0.188)	14	140-215
7/32 (0.219)	14 o 18	170-250
1/4 (0.250)	18	210-320
5/16 (0.313)	18	275-245

Todos los electrodos deberán tener un extremo libre de revestimiento de 3/4 a 1 1/4 pulgadas de longitud, con el objeto de -- hacer contacto con las piezas portaelectrodo.

2.3. FABRICACION DE ELECTRODOS

La fabricación de los electrodos puede hacerse por el método de inmersión o el de extrusión.

El método de inmersión, es el tradicional, que ha existido durante muchos años y que en épocas recientes, está siendo desplazado por la fabricación de los electrodos con máquinas.

El método de extrusión, que es al que nos vamos a referir, sigue los siguientes pasos;

Corte y Preparación del alambre,
Preparación de la pasta de revestimiento,
Fabricación
Secado y Almacenamiento.

Corte y Preparación del alambre.- El alambre es recibido en forma de rollo y mediante maquinaria se endereza y corta según las longitudes especificadas por las normas para el electrodo común de acero ordinario con un diámetro de 3.2. mm y mayores con longitud de varilla de 450 mm.

Este proceso debe ser cuidadoso, ya que las tolerancias que permite la fabricación por extrusión, son muy pequeñas en lo que respecta al diámetro y a la presencia de rebabas producto del corte del alambre.

El alambre debe estar perfectamente desengrasado.

La selección del tipo de alambre depende esencialmente del tipo de acero que se vaya a soldar.

Preparación de la pasta de revestimiento.- Para nuestro caso la pasta está constituida por : productos químicos, como carbonato, óxidos etc.; fundentes; ferro aleaciones de manganeso, silicio, titanio, etc.; y de aglomerante que de consistencia a la pasta, generalmente silicato de sodio y potasio.

El equipo involucrado en la fabricación de los electrodos por extrusión, es el siguiente:

- a.- Prensa para la compresión de la pasta hasta la cabeza de extrusión.
- b.- Cabeza de extrusión por donde pasa la varilla cortada perfectamente.
- c.- Depósito de alambre.
- d.- Transportador que recoge los electrodos fabricados para llevarlos al horno de secado.

La secuencia de fabricación es la siguiente: La pasta, impulsada a presión, llega a la cabeza de extrusión. En esta cabeza o cámara, entra por un extremo la pasta y por el otro el alambre desnudo, cortado a la medida, mismo que sale por el lado opuesto al de su entrada, por un orificio que tiene el diámetro exterior definitivo, ya que en este punto el exceso de pasta es retirada del electrodo.

La presión de extrusión desplaza el electrodo ya recubierto

hacia una banda transportadora que los traslada hacia el horno de secado.

Los hornos modernos pueden secar en una hora hasta 20,000 electrodos de 4mm de diámetro y 450 mm de longitud.

De este horno pasan a la sección de enfriado y de ahí a su empaquetado y almacenamiento.

3. TECNICAS DE LA SOLDADURA

En los anteriores capítulos, hemos visto los efectos de la soldadura en el metal base, los diferentes procesos, equipos y material de aporte utilizado.

De lo observado, se establece que para el proceso constructivo en cuestión; líneas de conducción; se utiliza el sistema de arco metálico protegido con electrodos consumibles y equipo de soldadura portátil consistente en un motor DIESEL de combustión interna con un generador de corriente.

Habiéndose planteado con qué se va a efectuar la soldadura, hablaremos entonces del tipo de material a soldar, qué técnica se utiliza, cómo se califica la aplicación de la soldadura por parte del operario, soldador, y cómo se produce la misma durante la construcción.

La norma utilizada para la soldadura de líneas de conducción de hidrocarburos e instalaciones, es especificada por el Instituto Americano del Petróleo, (American Petroleum Institute API), con la denominación API-STD-1104.

Esta norma o estándar, cubre la soldadura "a tope" de la tubería utilizada en los procesos de compresión, bombeo y conducción a alta presión del petróleo crudo, productos derivado del mismo, gases combustibles, así como a los sistemas

de distribución inherentes a dichos procesos. Esta norma permite el uso de los diferentes procesos de soldadura vistos en el capítulo 1, pero en nuestro caso, será enfocado hacia el proceso utilizado comúnmente, arco metálico con electrodo revestido.

En la tabla 3.1., se muestran los diferentes tipos de material, su especificación, así como su uso en la construcción de líneas de conducción y cuya soldadura está aplicada y calificada según lo estipulado en la norma API-STD-1104.

Esta norma se aplica a la soldadura de tubería API-5 y API-5LX, en sus diferentes grados, así como a la tubería y accesorios con estándar ASTM.

Los metales de aporte utilizados deben ser conforme a la especificación AWS-A-5.1., electrodos de acero bajo carbono recubiertos y AWS-A-5.5., electrodos de acero baja aleación recubiertos.

TABLA 3.1.
[6, 23]

MATERIALES UTILIZADOS EN LA CONSTRUCCION DE LINEAS DE CONDUCCION
A ALTA PRESION

TIPO DE MATERIAL	ESPECIFICACION	USO
-Tubería de Línea de Alta Prueba	API-5L-Gr.B API-5L-Gr. X-42 API-5L-Gr. X-52 API-5L-Gr. X-60 API-5L-Gr. X-65	Construcción de línea regular variando su especificación, diámetro y espesor según las características de presión de trabajo distancia a cubrir y al tipo de construcción.
-Tubería de Línea e instalaciones aéreas	ASTM-A-53 Gr.A ASTM-A-53 Gr.B ASTM-A-106 Gr.B	Construcción de las instalaciones aéreas de las líneas.
-Conexiones para Instalaciones. Bridas	ASTM-A-105	Accesorios para la construcción de instalaciones aéreas de las líneas
-Tees, Codos, reducciones etc.	ASTM-A-181 ASTM-A-216 Gr.WCB ASTM-A-234 Gr.WPB	

3.1. TECNICA PARA DEPOSITAR LA SOLDADURA

La soldadura en campo de tuberías para líneas de conducción se efectúa generalmente con el procedimiento de arco eléctrico con electrodo revestido, con el tubo en posición horizontal y fijo; El depósito de soldadura se hace de arriba hacia abajo, depositándose el primer cordón simultáneamente por dos soldadores, dependiendo del diámetro del tubo. Esto evita que la contracción de la soldadura cierre o separe las caras de la ranura en las partes en las que aún no se esté soldando.

El cordón de raíz es depositado con un exceso de corriente con el fin de lograr una penetración completa, la limpieza de este cordón de soldadura se limita a eliminar, mediante pulidora eléctrica, la capa de escoria que lo cubre y hasta donde es posible la escoria acumulada en las socavaduras laterales.

La escoria incrustada entre el primer cordón y el material base es removida por el segundo cordón, que también es depositado por dos soldadores simultánea y diametralmente opuestos; este segundo cordón, se denomina "paso caliente" y debe ser depositado también con un exceso de corriente, con el fin de lograr una mayor penetración del arco y fundir las orillas del primer cordón, facilitando así el flujo de la escoria que pudiera estar atrapada hacia la superficie.

Es práctica recomendable depositar inmediatamente el "paso

caliente" para aprovechar el calor residual del cordón de raíz, evitando así las roturas bajo cordón, cuando se sueldan tuberías de alta resistencia, como las de especificación API 5LX. El paso caliente, también proporcionará la resistencia adicional necesaria para la unión, pues el tubo con los dos primeros cordones podrá resistir la contracción y expansión debida a los cambios de temperatura, ya que puede estar bajo estas condiciones horas y días, antes de que el resto de los cordones de relleno sean depositados para completar la unión.

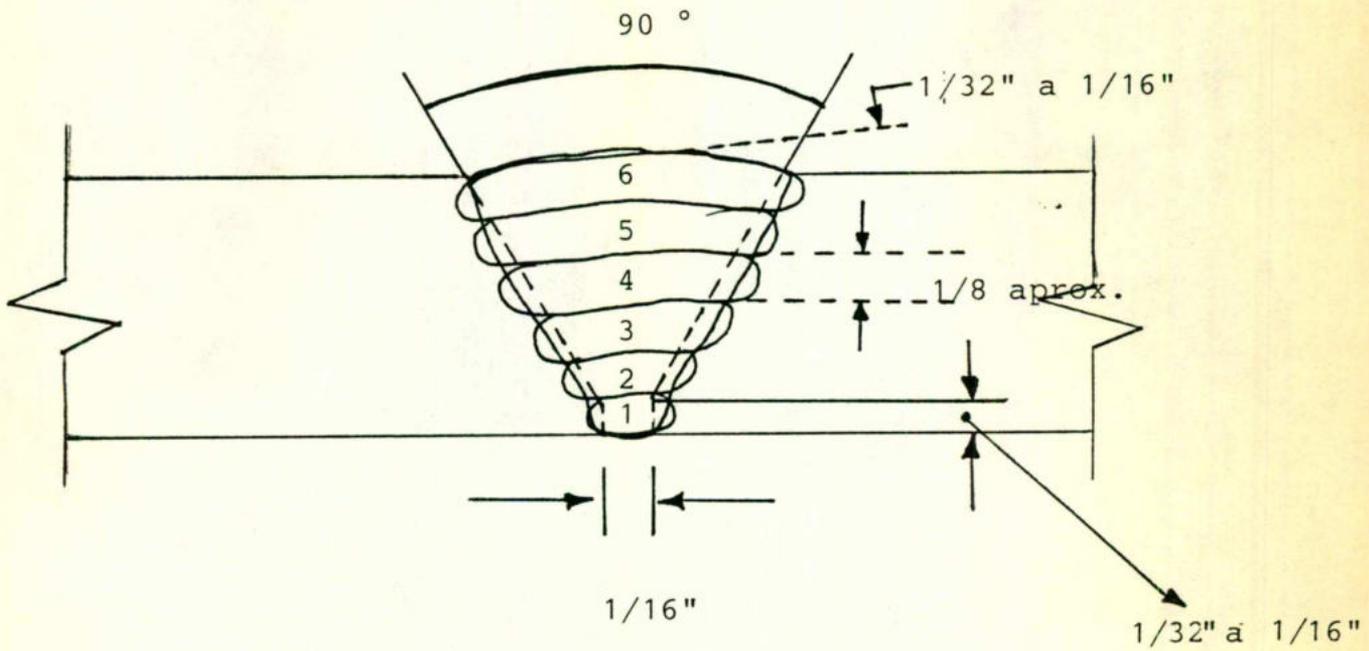
El refuerzo de la soldadura terminada deberá ser de 1/16" como máximo, tanto en la cara como en la raíz y deberá evitarse que las orillas del cordón de vista, sean recalçadas con cincel, ya que eso origina una socavación artificial y un cambio brusco de sección. Ambos casos propician la concentración de esfuerzos indeseables en las soldaduras.

La ranura o bisel típico, para hacer uniones soldadas en tuberías con pared hasta de 0.812", que sólo pueden ser soldadas por un solo lado, es la mostrada en la figura No. 3.1.

La separación en la raíz de la ranura deberá de ser de 1/16, para lograr que el depósito de soldadura llegue hasta el lado opuesto de la ranura y obtener la penetración completa requerida.

La separación antes indicada es la adecuada para emplear electrodos de 1/8" a 5/32" de diámetro para depositar el cordón de raíz. Al emplear electrodos mayores se correrá el riesgo de no lograr una penetración completa. En los cordones

FIGURA 3.1
[6, 269]



CORDONES DE SOLDADURA

1. FONDEO
2. PASO CALIENTE
3. RELLENO
4. RELLENO
5. RELLENO
6. VISTA

siguientes, se recomienda el empleo de electrodo de $5/32$ " a $3/16$ " de diámetro, con el fin de facilitar la fluencia de la escoria en la parte más estrecha de la ranura. En los últimos cordones se puede emplear electrodo de $3/16$ " de diámetro, según la habilidad del soldador. El riesgo de incurrir en errores, se incrementa al aumentarse el diámetro del electrodo empleado.

En líneas de tubería, uno de los problemas para producir buenas uniones de campo, se origina por la dificultad de obtener un buen alineamiento de los tubos. Este alineamiento es efectuado con la ayuda de un dispositivo denominado "alineador" que opera en el interior del tubo. El alineamiento de los extremos de los tubos por unir, deberá ser hecho de manera que se reduzca a un mínimo el desalineamiento entre las superficies.

Para tubos del mismo espesor nominal, el desalineamiento no deberá exceder de $1/16$ ". Cualquier desalineamiento mayor causado por variaciones en el diámetro o espesor, deberá ser igualmente distribuídos alrededor de la circunferencia del tubo. Puede recurrirse a golpear el extremo del tubo con martillo o marro para redondearlo y obtener un mejor alineamiento aunque esta práctica no es recomendable, especialmente en los aceros de alta resistencia, y debe limitarse a un mínimo.

Una fase importante del proceso de soldadura es la limpieza de los cordones. La calidad de la soldadura depende mucho del cuidado con que se remueva la escoria antes de depositar el cordón subsecuente. En muchas ocasiones las soldaduras

defectuosas han tenido su origen en una limpieza inadecuada.

Los biseles deben estar limpios, libres de óxido, escoria del corte, grasas, pintura, esmalte o cualquier otro material extraño, antes de depositar la soldadura, con el fin de evitar defectos, como falta de fusión o porosidad.

En la práctica se observa que la soldadura no deberá efectuarse cuando las superficies de las partes que van a ser soldadas, estén húmedas o durante la presencia de viento fuerte, a menos que el soldador y el equipo, estén debidamente protegidos. La soldadura tampoco deberá efectuarse cuando la temperatura del metal base sea menor de 0-32°F inclusive, o el espesor sea mayor de $1\frac{1}{2}$, deberá precalentarse el material hasta una temperatura que la mano apenas soporte, en una zona de 3" alrededor del punto donde se vaya a iniciar la soldadura.

El metal base a temperatura ambiente, puede actuar como un enfriador brusco del área del metal base afectada por el calor aportado por la soldadura, de ahí que el metal de la soldadura y el metal base, pueden contener estructuras suaves, o muy duras o una combinación de ambas, dependiendo principalmente de la velocidad de enfriamiento, la cual depende de tres variables: la cantidad de calor suministrada en un lapso determinado, la temperatura del metal base antes de soldar y el espesor de la sección y su geometría.

Una gran cantidad de calor suministrado y el precalentamiento,

favorecen el enfriamiento lento; es conveniente señalar que para una misma cantidad de calor suministrado en secciones gruesas, se tienen mayores velocidades de enfriamiento que en secciones delgadas, de ahí que sea aconsejable usar las dos primeras variables durante el proceso de soldadura para controlar el enfriamiento, especialmente cuando se suelden secciones gruesas.

Una gran velocidad de enfriamiento hace susceptible a fracturarse al metal base inmediatamente adyacente a la soldadura, al metal de la soldadura y a la zona de fusión, debido a que se propicia la formación de una microestructura martensítica, la cual es dura pero frágil y poco elástica. [2, 78]

3.2. CALIFICACION DE LA SOLDADURA

El propósito de la calificación de la soldadura aplicada por un soldador, es determinar su habilidad para ejecutar soldaduras sanas, usando un procedimiento previamente calificado de soldadura a tope.

El criterio de calificación sigue los lineamientos de la norma API-1104 referida al principio de este capítulo. La norma nos marca las siguientes pruebas: [7, 14]

Calificación simple

Calificación múltiple

Calificación por examen visual

Calificación por pruebas destructivas

Calificación por inspección radiográfica

3.2.1. CALIFICACION SIMPLE

Un soldador podrá obtener calificación simple, si cumple los requisitos del procedimiento al ejecutar soldaduras de prueba para unir a tope dos tramos cortos de tubo. Los segmentos de tubo deben ser soportados con su eje longitudinal en un plano horizontal o inclinado, no más de 45° en condiciones semejantes a las del soldado en obra, de manera que se produzcan las soldaduras típicas planas, verticales y sobre la cabeza.

La soldadura a tope deberá ser aceptada si cumple los requisitos

de las pruebas de calificación de soldadores que se describen más adelante.

Un soldador que ha completado satisfactoriamente las pruebas de calificación simple, queda calificado dentro de los límites de las variables que se describen en seguida; si alguna de estas variables es cambiada, el soldador que use el nuevo procedimiento deberá ser recalificado.

VARIABLES

- Cambio de procedimiento de soldaduras
- Cambio de dirección, vertical de arriba hacia abajo o viceversa
- Cambio del metal de aporte de un grupo a otro
- Cambio del diámetro nominal de un grupo a otro
Grupos; menor de 2 3/8"
2 3/8 a 12 3/4"
mayor de 12 3/4"
- Cambio de espesor nominal de pared de tubos, de un grupo a otro grupo
Grupos; menor de 3/16
3/16 a 3/4"
mayor de 3/4"
- Cambio de posición; de rolado a fijo y viceversa, de vertical a horizontal y viceversa
- Cambio de diseño o de junta; de U a V o con respaldo.

3.2.2. CALIFICACION MULTIPLE

Un soldador clasificado para los requisitos de la calificación múltiple, deberá hacer completas dos soldaduras de prueba, utilizando un procedimiento calificado.

El soldador hará primeramente una soldadura a tope, para unir dos tubos colocados en posición fija horizontal o inclinada a menos de 45°.

Los tubos a unir serán de 6" de diámetro nominal y 0.250" de espesor como dimensiones mínimas.

La soldadura deberá ser aceptada si cumple con los requisitos de las pruebas de calificación de soldadores: visual y destructiva o radiográfica.

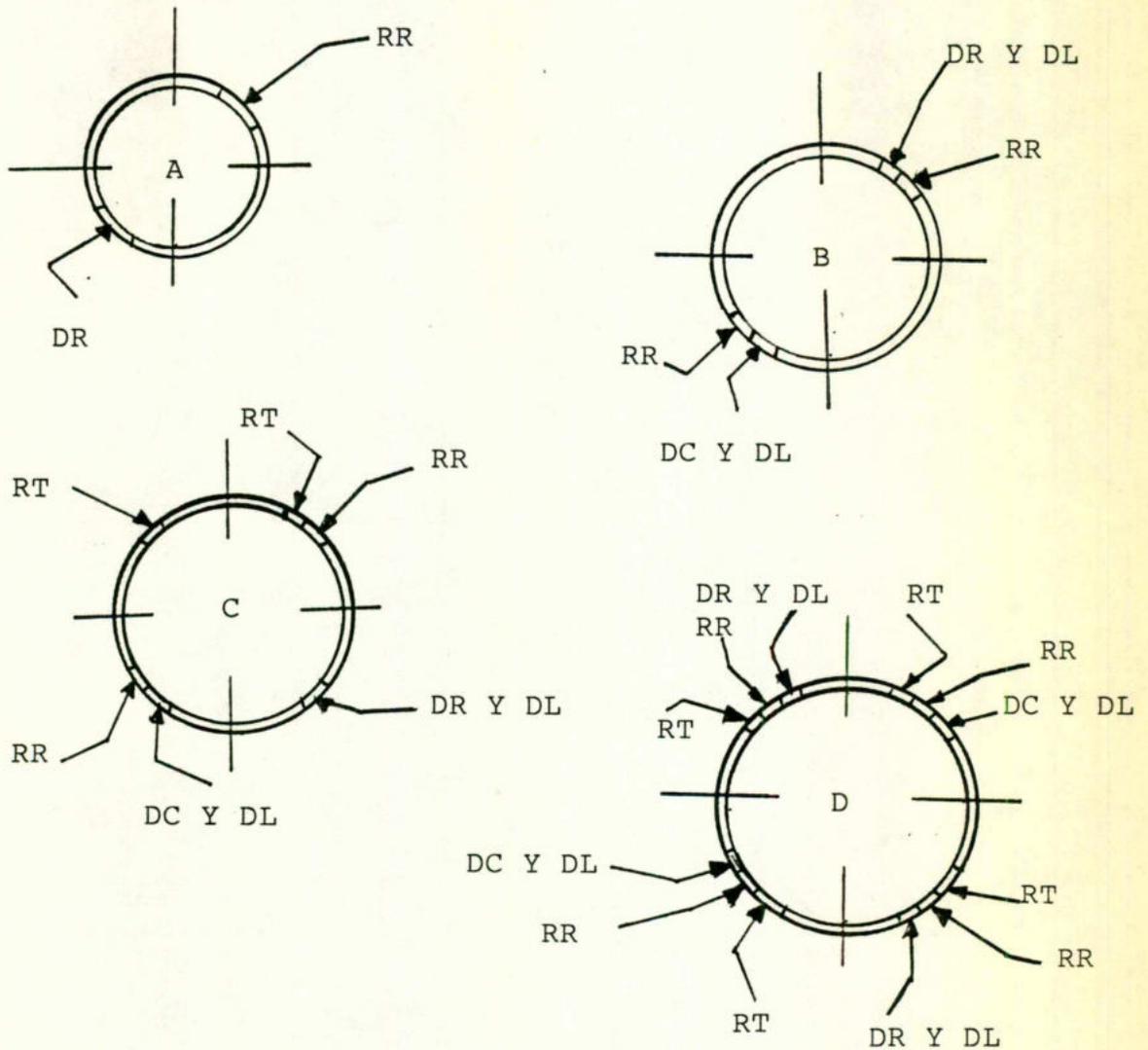
Las probetas para las pruebas destructivas, deberán ser obtenidas de la forma como se muestra en la figura 3.2. Según API-1104.

La segunda prueba consiste en que el soldador haga una conexión de ramal, a diámetro completo del tubo, incluyendo : trazo, corte, ajuste, y soldado. Las dimensiones mínimas son similares a las indicadas en la primera prueba. El corte del agujero debe ser en forma continua. La soldadura aplicada debe presentar penetración completa en toda la circunferencia y el cordón de raíz no deberá tener ninguna quemada mayor de 1/4". La suma de longitudes quemadas separadas en cualquier longitud continua de 12", no deberá exceder a 1/2". El tramo de tubo estará colocado

FIGURA 3.2.

LOCALIZACION DE PROBETAS DE SOLDADURA A TOPE
PARA CALIFICACION DE SOLDADURA

NORMA API-1104 [7, 6]



- A.- Menor de 2 2/8"
- B.- 2 3/8" a 4 1/2"
4 1/2 y menores
Cuando el espesor de pared es de 1/2"
- C.- Mayor de 4 1/2" a 12 3/4" incl.
- D.- Mayor de 12 3/4"

- RT Rotura por Tensión.
- RR Ranura y Rotura
- DC Doblado de Cara
- DR Doblado de Raíz
- DL Doblado Lateral

en posición horizontal y el ramal en posición horizontal hacia abajo. La soldadura debe presentar un acabado uniforme y bueno.

Si el soldador ha aprobado las pruebas descritas, en tubos de 12" de diámetro nominal o mayores, está calificado para soldar en todas las posiciones, en todos los espesores de pared, juntas de diseño, accesorios y todos los diámetros de tubo. Si el soldador aprobó las pruebas en tubos menores de 12" de diámetro nominal, está calificado para soldar en todas las posiciones, todos los espesores de pared, juntas de diseño, accesorios y todos los diámetros de tubos iguales o menores al diámetro de los utilizados en las pruebas.

Como en la calificación simple el soldador deberá ser recalificado si se cambia el procedimiento de soldadura, la dirección de soldado o el metal de aporte de un grupo a otro.

3.2.3. CALIFICACION POR EXAMEN VISUAL

La soldadura debe estar libre de grietas, tener una penetración adecuada, estar libre de quemaduras, no raspada, así como de no tener ningún defecto y debe presentar un aspecto limpio y bien acabado. La socavación adyacente al cordón final en la parte exterior del tubo, no debe exceder de 1/32" de profundidad y no más de 2" de socavación en 12" de longitud de soldadura.

Si de la observación visual se detectan fallas, éstas serán causa

suficiente para suspender pruebas adicionales.

3.2.4. CALIFICACION POR PRUEBAS DESTRUCTIVAS

Para efectuar pruebas destructivas en el cordón de soldadura, se obtendrán las probetas de la forma como se indica en la figura 3.2. El número total de probetas y las pruebas para cada una de ellas se indica en la tabla 3.1. todas las probetas han de ser enfriadas al aire a la temperatura ambiente antes de someterse a prueba.

Las probetas son sometidas a ensayos de resistencia a la tensión, ranura y rotura y dobléz en la cara, raíz y lateral. Longitudinalmente, si durante el desarrollo de las pruebas la probeta muestra defectos mayores a los permitidos, el soldador debe ser descalificado. En capítulos posteriores se detalla el procedimiento de cada una de las pruebas destructivas mencionadas. [7, 17].

3.2.5. CALIFICACION POR INSPECCION RADIOGRAFICA

Todas las soldaduras de prueba efectuadas por el soldador deberán ser radiografiadas en un 100%. El soldador debe ser descalificado si alguna de sus soldaduras de prueba no cumple con los estándares de aceptabilidad indicados por la norma API-STD-1104

TABLA 3.1.

TIPO Y NUMERO DE PROBETAS DE CALIFICACION
DE SOLDADORES Y PARA PRUEBA DESTRUCTIVA DE PRODUCCION
EN SOLDADURAS A TOPE

[7, 15]

TAMAÑO DEL TUBO DIAMETRO EXTERIOR EN PULGADAS	RESISTENCIA LA TENSION Y ROTURA	RANURA DE RAIZ	DOBLADO DE CARA	DOBLADO LATERAL	DOBLADO DE CARA	DOBLADO LATERAL	TOTAL
ESPESOR DE PARED 1/2 PULG Y MENORES							
Menores de 2 3/8	0	2	2	0	0	0	4
2 3/8 a 4 1/2 Inclusive	0	0	2	2	0	0	4
Mayores de 4 1/2 a 12 3/4 Inclusive	2	2	2	0	0	0	6
Mayores de 12 3/4	4	4	2	2	0	0	12
CON ESPEORES MAYORES DE 1/2 PULG.							
4 1/2 y menores	0	2	0	0	0	2	4
Mayores de 4 1/2 a 12 3/4 Inclusive	2	2	0	0	0	2	4
Mayores de 12 3/4	4	4	0	0	0	4	12

En el capítulo 5, se tratará en detalle lo referente a los criterios de aceptación y rechazo de defectos detectados mediante la inspección radiográfica.

Si la falla de un soldador para pasar la prueba, fuera por condiciones inevitables o por situaciones más allá de su control, el soldador recibe una segunda y última oportunidad para calificar.

3.3. PRODUCCION DE SOLDADURA EN LINEAS DE CONDUCCION

De igual forma que se construye una carretera para unir dos Ciudades, o se tiende una línea de alta tensión para proporcionar energía eléctrica de la planta generadora a una área poblada, las líneas de conducción tienen como objeto el transportar de una forma rápida, segura y económica, el petróleo y sus derivados así como los gases inherentes a la extracción del mismo como son el gas natural, propano, etc.

El transporte se realiza utilizando una tubería de acero denominada de línea; de alta resistencia y bajo contenido de carbono, cuya fabricación se efectúa cubriendo la especificación API (American Petroleum Institute) 5LX para tubería de línea de alta prueba. Los diámetros utilizados normalmente son de 8, 10, 12, 14, 16, 24, 36 y 48" de diámetro nominal con espesores de pared que van desde 0.188" hasta 0.500".

Las líneas son tendidas con longitudes de cientos de kilómetros como es el caso del Gasoducto de 48" ϕ x 1080 Kms de longitud entre CD Pemex, Tabasco y San Fernando, Tamaulipas, o de decenas de kilómetros como la Red de Gas de la Ciudad de Querétaro de 16" ϕ x 16.4 Kms.

Según sea el uso que se le de a una línea, se le denomina gasoducto (gas natural), oleoducto (petróleo crudo), poliducto (productos primarios y refinados en estado líquido), propanoducto

(propano), amoniaducto (amoniaco), etc.

El transporte del fluído se efectúa por bombeo en el caso de líquidos y por compresión en el caso de gases. El bombeo o la compresión, dan al fluído el empuje necesario para vencer la topografía del terreno y así poder llegar a su destino.

Por seguridad las líneas son alojadas bajo la superficie, a 1 metro de profundidad, y alejadas, en lo posible de las áreas urbanas, únicamente sale la tubería a la superficie en las instalaciones que se construyen para operar y dar mantenimiento a las líneas. La tabla 3.2, nos muestra las diferentes instalaciones que se construyen.

La figura 3.3, es un esquema de un diagrama de flujo típico para una línea de conducción.

Con el objeto de ubicar a la soldadura dentro del proceso de construcción de líneas, se presenta un panorama general de las fases involucradas en el desarrollo de las obras de este tipo.

3.3.1. FASES CONSTRUCTIVAS DE LAS LINEAS DE CONDUCCION

Previo a la iniciación de los trabajos, el departamento de Ingeniería, efectúa un recorrido del terreno por el que se ha de tender la línea, con el objeto de llevar a cabo el levantamiento topográfico, de afectaciones a propietarios y ejidatarios del terreno, y su trazo en planos para ser entregados

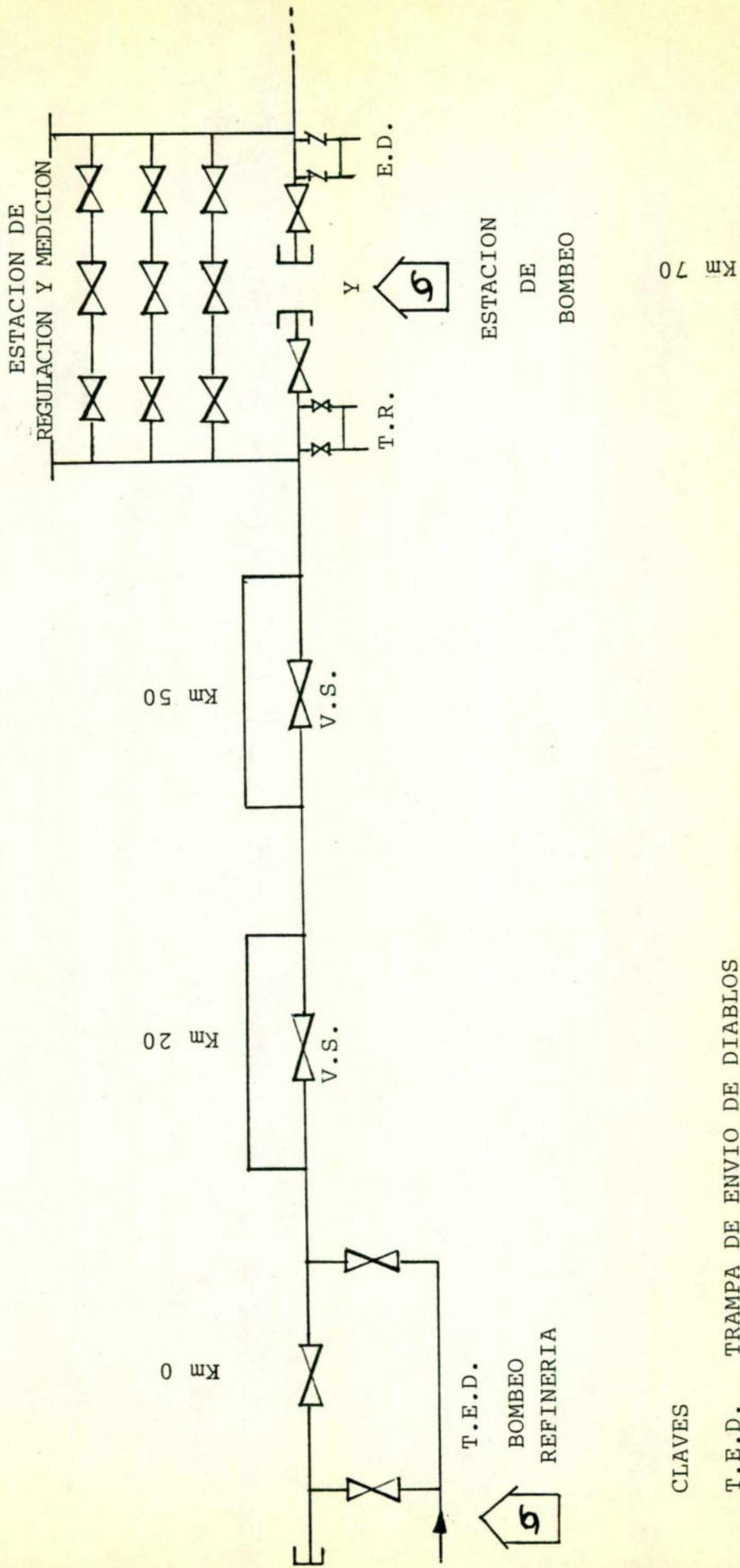
TABLA 3.2.
[12, 2.5]

INSTALACIONES AEREAS DE LAS LINEAS DE CONDUCCION

TIPO DE INSTALACION	OBJETO
Estación de Bombeo o Compresión	IMPULSAR AL LÍQUIDO O GAS MEDIANTE INCREMENTO EN LA -- PRESION DE LA LINEA PARA SU FLUJO DE UN PUNTO A OTRO.
Estación de Regulación y Medición	REGULAR Y MEDIR EL FLUJO DEL PRODUCTO PARA MANTENER LA LINEA OPERANDO EN CONDICIONES DE SEGURIDAD.
Válvula de Seccionamiento	BLOQUEAR LA LINEA EN PUNTOS DETERMINADOS PARA EVITAR LA PERDIDA DEL PRODUCTO DEBIDO A FUGA EN LA TUBERIA. ESTAS VALVULAS SON INSTALADAS APROXIMADAMENTE DE 20 A 30 Kms. DE LA LINEA.
Trampa de envío y/o Recibo de Diablos	PERMITIR LA ENTRADA A LA LINEA DE UN EQUIPO DE LIMPIEZA AL INTERIOR DE LA LINEA, DIABLO, O DE UN EQUIPO DETECTOR DE FALLAS, EN LA TUBERIA LLAMADO DIABLO INSTRUMENTADO.

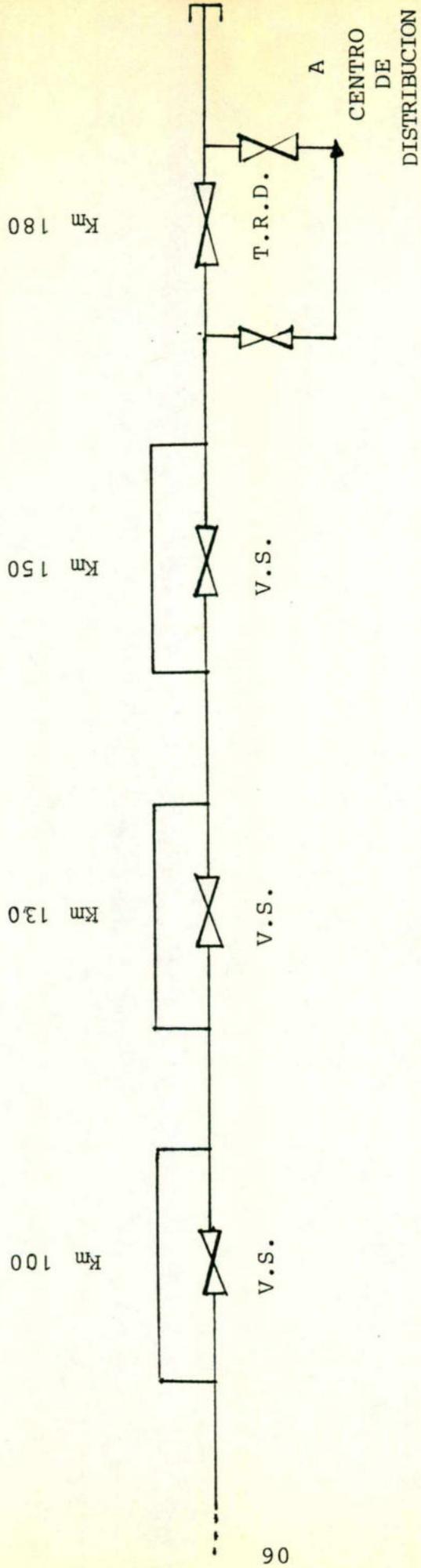
FIGURA 3.3.

DISTRIBUCION TIPICA DE INSTALACIONES EN LINEAS
DE CONDUCCION DE HIDROCARBUROS LIQUIDOS



CLAVES

- T.E.D. TRAMPA DE ENVIO DE DIABLOS
- T.R.D. TRAMPA DE RECIBO DE DIABLOS
- T.R. y E.D. TRAMPA DE ENVIO Y RECIBO DE DIABLOS
- V.S. VALVULAS DE SECCIONAMIENTO



al contratista de la obra.

La función de la empresa, Petróleos Mexicanos, es la de supervisar que la obra se lleve a cabo de acuerdo a las normas establecidas para su construcción, las cuales se resumen en un documento denominado "Requisitos Mínimos de Seguridad para la Construcción, Operación y Mantenimiento de Líneas de Transporte de Hidrocarburos".

Otra función de la empresa es proporcionar la tubería, válvulas, conexiones e instrumentos necesarios para su construcción.

Con la ingeniería y materiales de la obra al 100%, se desarrolla la obra siguiendo las fases constructivas indicadas a continuación:

a.- APERTURA DEL DERECHO DE VIA .- Siguiendo los planos de Ingeniería, se trazan dos líneas paralelas a una separación que va de 12 a 18 mts. según el diámetro del tubo a instalar, y se efectúa un corte o despalme del terreno con tractor, "bull-dozer" o motoconformadora, para que por el puedan transitar todos los equipos de transporte y construcción utilizados durante la ejecución de la obra. El terreno debe quedar nivelado y libre de maleza, árboles o rocas.

b.- TENDIDO DE TUBERIA .- Debido a la cantidad de tubería involucrada, ésta es embarcada desde la fábrica, en góndolas de Ferrocarril hasta la estación dónde ha de ser descargada y almacenada. Al haberse acondicionado el derecho de vía ya se

está en condiciones de transportar la tubería, misma que se fabrica en tramos de 12 mts. de longitud, utilizando trailers con plataforma. La tubería se va tendiendo a lo largo del trazo de la línea, colocándose sobre costales llenos de tierra para que no estén en contacto con el terreno natural.

c.- EXCAVACION DE ZANJA.- La excavación de la zanja es ejecutada utilizando una retroexcavadora, para terreno suave y semiduro, o perforadoras neumáticas y explosivos, cuando el terreno es muy duro o rocoso. La zanja se excava hacia un costado del derecho de vía, aproximadamente a cinco metros de uno de sus límites, de tal forma que quede espacio para el tránsito de los vehículos. La zanja tiene dimensiones de 1.50 metros de profundidad y de 0.70 a 1.00 m de ancho. Estas dimensiones varían según el diámetro del tubo, así como del terreno por el cual se está pasando, ya que en algunos puntos, como los cruces de canales o arroyos, la zanja puede alcanzar hasta 5 o 6 mts de profundidad.

d.- SOLDADURA.- La soldadura es la fase que nos ocupa. Esta constituye el medio mediante el cual vamos a asegurar que la línea sea continua, hermética y con índice de confiabilidad del 100%. Manejándose presiones de prueba de hasta 140 Kg/cm², para tubería API-5LX Gr-x-52 de 16"Ø de diámetro y 0.312" de espesor, por ejemplo, y presiones de trabajo de 70 Kg/cm² es obvio que el proceso de soldadura utilizado, así como su ejecución por parte del soldador, son un aspecto crítico de la construcción y el cual

debe supervisarse y revisarse con especial cuidado.

Durante esta fase es practicada la Inspección Radiográfica de las juntas de soldadura en un 100% del cordón aplicado, debiéndose reparar o rechazar todas las soldaduras que muestren defectos. Hasta que no se asegure la continuidad de la línea no se continúa con ninguna fase constructiva.

e.- PROTECCION ANTICORROSIVA.- Con el objeto de evitar el proceso corrosivo al estar el tubo en contacto con el terreno de la zanja, la tubería se protege con un sistema anticorrosivo compuesto por lo siguiente: una capa de pintura primaria a base de brea de hulla, un refuerzo en tela de fibra de vidrio enrollado sobre el tubo, un baño de esmalte aplicado en caliente a base de alquitrán de hulla y por último una tela de fibra de vidrio saturada con alquitrán de hulla, que se enrolla al tubo; con este sistema se asegura un aislamiento eléctrico del tubo con respecto al terreno, evitándose así la corrosión.

f.- BAJADO Y TAPADO.- El tubo ya soldado y protegido es colocado en la zanja, la cual ha sido preparada previamente con una cama de material suave que evita que el tubo se golpee al momento de ser bajado, posteriormente se protege el tubo con otra capa de material suave, colchón, con el objeto de que al ser tapada la zanja el tubo no sea golpeado con rocas producto de la misma excavación.

g.- OBRAS ESPECIALES E INSTALACIONES.- A todos los trabajos

que no se pueden ejecutar en la línea en forma continua, como son los cruces de ríos, arroyos, pantanos, carreteras, vías del F.F.C.C. etc., se les denomina obras especiales, ya que sus características propias impiden su ejecución en forma regular. Estos trabajos llevan todas las fases constructivas, pero se ejecutan en forma especial y de una manera más lenta, de ahí que su costo de construcción sea más elevado que una línea regular.

La construcción de instalaciones, es referida a la ejecución de los trabajos de Estaciones de compresión, bombeo, regulación y medición, válvulas de seccionamiento y tramos de recibo y envío de diablos; mismos que involucran obras civiles, mecánicas, eléctricas, electromecánicas y de instrumentación para su ejecución.

h.- PRUEBA HIDROSTATICA.- La hermeticidad de una línea es probada mediante la ejecución de una prueba hidrostática, en ella, se toma una sección de 15 a 20 kms. de la línea, varía según la topografía del terreno, y se le inyecta agua, de tal forma que se alcance una presión de prueba que corresponde a un 75% de la resistencia a la fluencia máxima de la tubería que se está probando. La presión se mantiene durante 24 horas, registrándose en una gráfica, la cual constituye el certificado de aprobación de la construcción de ese tramo de tubería en particular. Esta gráfica es conservada para su entrega al área de Operación y Mantenimiento de PEMEX al momento de terminar de probar toda la línea.

i. - PROTECCION CATODICA.- Como complemento y ayuda a la protección anticorrosiva aplicada al tubo, se instala un sistema de protección catódica, el cual consiste en una serie de sub-estaciones eléctricas con transformador y rectificador, así como de una cama anódica compuesta por ánodos de grafito que se instalan en puntos previamente determinados a lo largo de la línea, de tal forma que induce una corriente rectificada al tubo, cátodo, provocando así la desintegración de los ánodos de grafito.

j.- LIMPIEZA DEL DERECHO DE VIA.- Debido a que durante la construcción se han afectado terrenos de cultivo, calles, arroyos, etc., la constructora deberá efectuar los trabajos que sean necesarios, de tal forma que el derecho de vía quede en las mejores condiciones posibles para su utilización.

3.3.2. LA PRODUCCION DE SOLDADURA EN LINEA REGULAR

La producción de la soldadura en la línea regular, es un proceso en serie, durante el cual el tubo tendido previamente es alineado por un operario llamado "Alineador" quien utilizando un equipo neumático o mecánico, hace coincidir las bocas de dos tubos para ser soldados.

Dependiendo del diámetro, uno o dos soldadores calificados, inician el proceso, aplicando el primer cordón de soldadura llamado fondeo, habiéndose aplicado el fondeo, se trasladan a la siguiente soldadura o junta que ya ha sido alineada, ejecutando nuevamente su cordón de fondeo.

En una segunda etapa e inmediatamente después de que se aplica el fondeo, otro u otros soldadores, aplican el paso caliente, avanzando de esta manera de junta en junta; de forma similar a los soldadores anteriores, entra otro grupo que va aplicando los cordones de relleno para completar así la junta de soldadura al 100%.

Este proceso en serie se va desarrollando durante toda la jornada, siempre y cuando las condiciones climatológicas lo permitan. Para protegerse del medio ambiente las juntas sobre las cuales se esta trabajando, se cubren con mantas o mamparas de plástico y así no ver detenida su actividad.

Durante el proceso deberán conservarse las condiciones del

material así como la aplicación de la soldadura, siguiendo los indicadores referidos en la sección 3.1. de este capítulo, "Técnica para Depositar la Soldadura".

Especial cuidado deberá tenerse en la limpieza, con pulidora entre cada cordón para tener una junta con sanidad y libre de defectos.

Normalmente el equipo de soldadura y electrodos utilizados, van montados sobre un vehículo que va sobre el derecho de vía y a lo largo del tubo, así como a los soldadores, para llevar a un mínimo los tiempos muertos, debido al cambio continuo de ubicación del equipo.

Los rendimientos alcanzados normalmente por el proceso de soldadura mencionado, es de 60 a 70 juntas por día, con un promedio de rechazo de juntas, después de ser inspeccionadas radiográficamente, de una o dos por día.

3.3.3. PRODUCCION DE SOLDADURA EN OBRAS ESPECIALES

La principal diferencia con la producción de soldadura en línea regular, es que durante la ejecución de soldadura en obras especiales, el frente de trabajo permanece estacionario. En el caso de las instalaciones, la soldadura se efectúa según los procedimientos establecidos, en el lugar donde se va a edificar la instalación, prefabricando o armando la tubería, válvulas y conexiones necesarias según lo establezca el proyecto.

En estos trabajos se requiere que el soldador esté calificado para cortar, biselar, y armar tubería con sus conexiones, en una forma precisa y limpia ya que al ser una construcción que queda sobre la superficie, es muy importante la ejecución de soldaduras de calidad y buena "Vista".

Las obras especiales son todos los trabajos que no se pueden ejecutar en forma regular, ríos, arroyos, pantanos, carreteras, caminos vecinales, vías de F.F.C.C., etc., En el caso de pequeños arroyos o vados, la obra especial se ejecuta al profundizar la excavación de la zanja hasta 5 o 6 metros y colocar tubería lastrada con concreto en vez de la tubería recubierta con la protección anticorrosiva normal.

Cuando se tienen caminos vecinales o carreteras de muy poco tráfico, de igual forma se profundiza la zanja y se deposita la tubería recubierta normalmente sin necesidad de lastrarse, ya

que no hay peligro de que flote el tubo por la presencia de agua.

El cruce de ríos y pantanos así como el de vías importantes de comunicación se explican en las siguientes secciones:

3.3.3.1. SOLDADURA EN EL CRUZAMIENTO DE VIAS DE COMUNICACION

En las vías importantes de comunicación como autopistas, carreteras de mucho tráfico o vías de ferrocarril, la obra especial cobra una gran importancia ya que al estar cruzando un derecho de vía con otro, se deben ejecutar un trabajo de buena calidad sin afectar las funciones de aquella vía que se va a cruzar.

Por el uso normal de tales vías no es conveniente interrumpir o suspender su utilización, de ahí que el cruce se efectúa excavando un tunel por debajo, de la superficie de la vía. En algunos casos se alcanzan profundidades de 6 metros.

En una primera etapa el tunel se excava utilizando un equipo llamado "Tuneleadora" que va perforando el terreno en forma horizontal muy por debajo de la superficie. Esta etapa también se puede ejecutar por el procedimiento del " Hombre Topo" , en el cuál un hombre con herramienta, va ejecutando la excavación del tunel.

En una segunda etapa se introduce un tubo que tiene un diámetro de 2 a 4" mayor al diámetro de la tubería conductora.

Por ejemplo; para una línea de conducción de 16" de diámetro,

se coloca un tubo de 22" de diámetro, a este tubo se le denomina "camisa" o "chaqueta", habiéndose ejecutado estas dos etapas se procede a soldar, con el personal y equipo necesario, en uno de los extremos del cruzamiento. La tubería de conducción, con su protección anticorrosiva aplicada previamente, es presentada en la boca de la tubería que sirve de camisa; se le solda un tapón con una asa y utilizando un cable tendido a lo largo de la camisa, se va jalando la tubería conductora, la cual se desplaza sobre unos rodillos para facilitar su desplazamiento.

Con el objeto de que la tubería quede aislada eléctricamente y concéntrica a la camisa, se le colocan unos aisladores concéntricos.

Cuando el primer tubo está casi introducido en la camisa, se le alinea el segundo tubo, y con el frente de soldadura ubicado en este punto, se efectúa la junta de soldadura en un 100%, se inspecciona radiográficamente en el momento y si la soldadura está sin defectos que obliguen su rechazo, se le aplica a la junta su protección anticorrosiva, se le colocan los aisladores concéntricos y se jala desde el otro extremo del cruzamiento, repitiéndose la operación con los tramos de tubería que sean necesarios hasta salir con la línea conductora en el otro lado del cruzamiento.

Con el objeto de que tenga "respiración" la camisa, se colocan unos tramos de tubería de 3 a 4 " de diámetro que van desde la

misma hasta la superficie en ambos extremos del cruzamiento.

Ejecutado el cruzamiento se efectúan los empates de la obra especial con la línea regular, trasladándose el frente de trabajo hacia otra obra de este tipo.

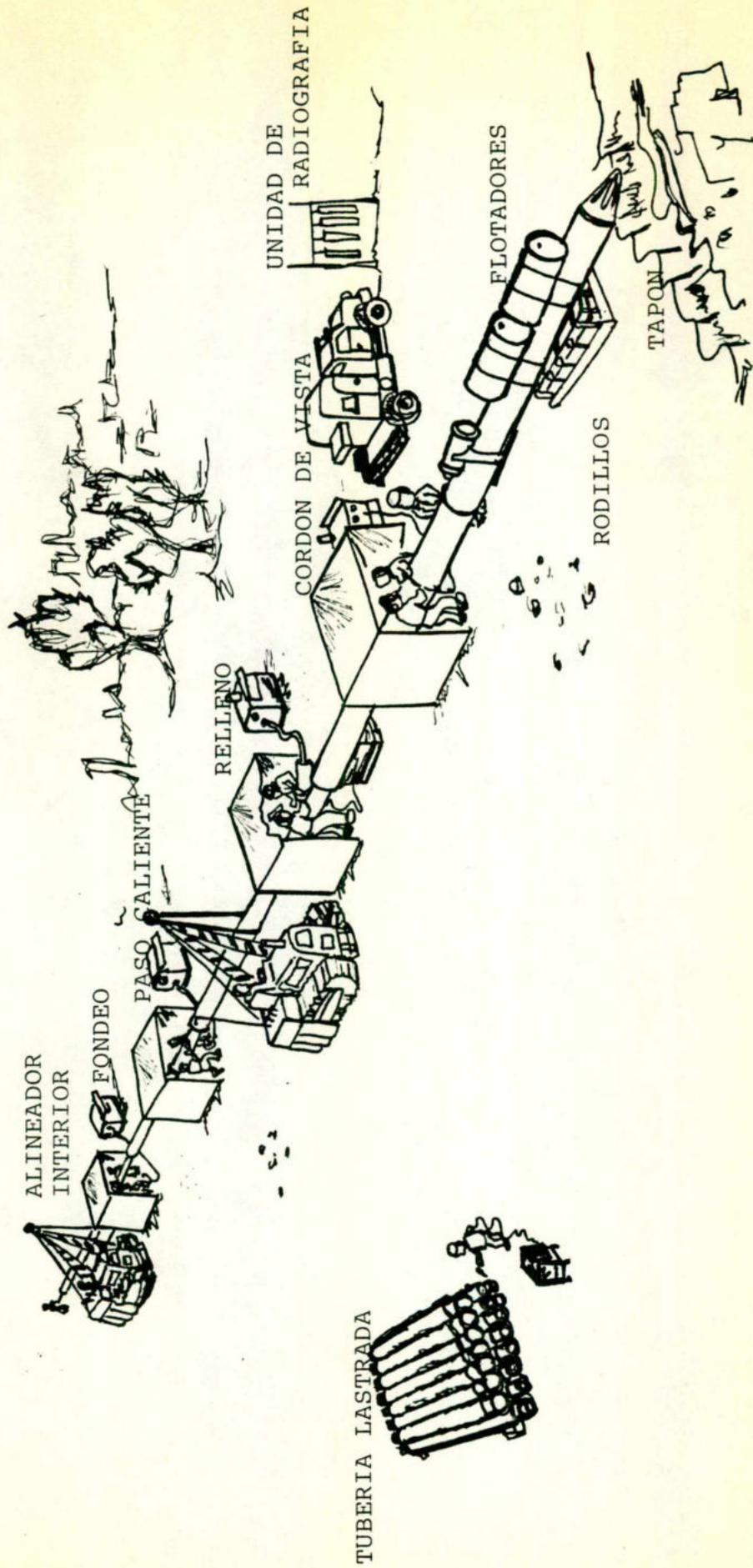
3.3.3.2. SOLDADURA EN EL CRUZAMIENTO DE RIOS Y PANTANOS

La tarea de tender la tubería para cruzar ríos y terrenos saturados con agua; representa un gran esfuerzo para su realización ya que en ella interviene un gran número de personal, equipo de construcción y técnica constructiva.

Al cruzamiento de ríos y pantanos, se le denomina "lanzamiento", debido a la acción de materialmente lanzar la tubería sobre el agua.

El frente de trabajo se instala en la orilla del río o pantano en la forma mostrada en la figura 3.3 . La tubería previamente protegida contra la corrosión, es lastrada con una cubierta de concreto y soldada en secciones de 5 o 6 tramos de tubería, dependiendo del espacio disponible. La totalidad de las soldaduras es radiografiada al 100%. Habiéndose revisado las soldaduras, se prepara el lanzamiento flejando a la tubería tambores vacíos para que flote al momento de entrar en contacto con el agua.

FIGURA 3.3.
[10, 221]
LANZAMIENTO PARA CRUCE DE RIOS Y PANTANOS



En la boca del primer tubo, se solda un aditamento que permite tirar de la sección soldada en el otro extremo; un equipo con la capacidad adecuada, tira de la tubería; en la tierra la tubería se desplaza sobre rodillos para facilitar la maniobra.

Previamente al lanzamiento, deberá excavar la zanja en el fondo del río o pantano, utilizándose una "draga" o un "chalán" con una retroexcavadora.

En el momento en el que se encuentra flotando sobre el agua la sección de tubería soldada, se centra sobre la zanja y se van rompiendo los flejes de los flotadores para permitir la bajada de la tubería hacia la zanja ubicada en el lecho del río.

Tantas secciones de tubería como sea necesaria, sufrirán el proceso indicado, para cubrir toda la longitud del cruzamiento. Las puntas o extremos de ambos lados deberán quedar en terreno firme para su empate con la línea regular.

3.4. CONTROL DE LAS SOLDADURAS

En el desarrollo o producción de las soldaduras practicadas para unir la tubería en la forma que se menciona en párrafos anteriores, existen varios factores que originan defectos en la soldadura como son : mala preparación o alineamiento de la tubería, mala ejecución de la soldadura o uso de material de aporte inadecuado.

El control de la soldadura se realiza en la siguiente forma:

-Control antes de ejecutar la soldadura.- Se establece un procedimiento calificado para la soldadura de una tubería específica, con un cierto espesor, material de aporte definido y características de corriente y voltaje a ser aplicado al arco de soldadura.

Se efectúan los exámenes de calificación de los soldadores para determinar su aptitud para desempeñar sus funciones satisfactoriamente.

-Control durante la ejecución de la soldadura.- Este control es principalmente de inspección o supervisión de la soldadura que se está aplicando, tomando especial cuidado en ver que el metal de aporte sea el adecuado, la técnica utilizada por el soldador sea la correcta, todo ello con el fin de detectar malas prácticas que puedan repercutir en el desarrollo de los trabajos. Por ejemplo, una soldadura realizada a gran

velocidad, normalmente no alcanza a penetrar lo suficiente, provocando el defecto de falta de penetración, o bien si se realiza con lentitud, se producen quemadas, exceso de penetración, cordones de soldaduras irregulares etc.

-Control después de la soldadura .- Los controles existentes cuando ya se tiene el cordón de soldadura, pueden ser de carácter destructivo, no destructivo o semidestructivo.

El método de control o inspección no destructiva, común en la construcción de líneas de conducción, es el radiografico, mismo que se analiza en detalle en los siguientes capítulos; lo relativo a ensayos destructivos se amplía en el capítulo 6.

3.4.1. SUPERVISION

A lo largo de todas las actividades mencionadas en este capítulo, se tiene como común denominador, al personal de Petróleos Mexicanos, llamado Supervisor, que debe estar pendiente de que el proceso de calificación, aplicación y control de la soldadura se efectúe dentro de los parámetros indicados por la norma API-1104 y por las especificaciones que para obras de este tipo, ha establecido PEMEX. Su función va desde la calificación de los soldadores para determinar su aptitud y aceptar o rechazar a los mismos, hasta la revisión y calificación de los resultados que los técnicos radiográficos

den sobre las soldaduras que han sido inspeccionadas.

Su labor se constituye también con el control de las soldaduras realizadas, su localización en campo, su identificación, elaboración de reportes diarios de avance, revisión de que las soldaduras con defectos que permitan su reparación sean ejecutadas, así como el corte y retiro de todas aquellas que no permitan reparación.

Las personas empleadas en esta labor, son profesionistas con amplia experiencia en el proceso constructivo, en aplicación de soldadura e interpretación de placas radiográficas.

4. LA INSPECCION RADIOGRAFICA DE LA SOLDADURA

4.1. FUNDAMENTOS

La radiografía es probablemente el método de inspección no destructiva más utilizada actualmente, y no es la excepción el que se emplee en la verificación de la calidad de la soldadura en líneas de conducción, debido a que es un método portátil, versátil y de resultados inmediatos con alto grado de confiabilidad.

La inspección radiográfica se basa en la propiedad de las ondas electromagnéticas, con una longitud de onda de 10^{-10} a 10^{-7} centímetros, para penetrar cuerpos opacos a la luz visible. Se incrementa su capacidad de penetración al ser menor la longitud de onda del haz electromagnético que incide sobre el material.

En sí, una radiografía es la sombra impresa, en forma permanente, de un cuerpo opaco sobre una película sensible a la radiación. La formación de la sombra radiográfica de un cuerpo opaco es un proceso semejante a la formación de una sombra bajo la luz ordinaria. Una sombra ordinaria requiere de un foco de luz visible, un cuerpo opaco inmerso en el haz luminoso y un plano o superficie de proyección. Por lo tanto para obtener una sombra radiográfica, se necesita un foco emisor de radiación penetrante, rayos "X" o rayos "gamma", de un cuerpo con la

capacidad de atenuar la radiación que incide sobre él y de una película sensible que recibe y registra la sombra del cuerpo sobre ella proyectada.

4.1.1. INSPECCION CON RAYOS X

Como en muchos de los grandes descubrimientos del ser humano, los hechos fortuítos dieron paso al estudio y desarrollo de las radiaciones, hasta ir determinando el sinnúmero de aplicaciones que tienen en la actualidad. En el caso de los Rayos "X", este hecho fortuító, fue cuando se observó que las películas fotográficas se velaban al recibir la radiación, no obstante que estas películas se protegían con pantallas opacas y gruesas. Esta situación, dio la pauta para conocer el poder de penetración de la radiación.

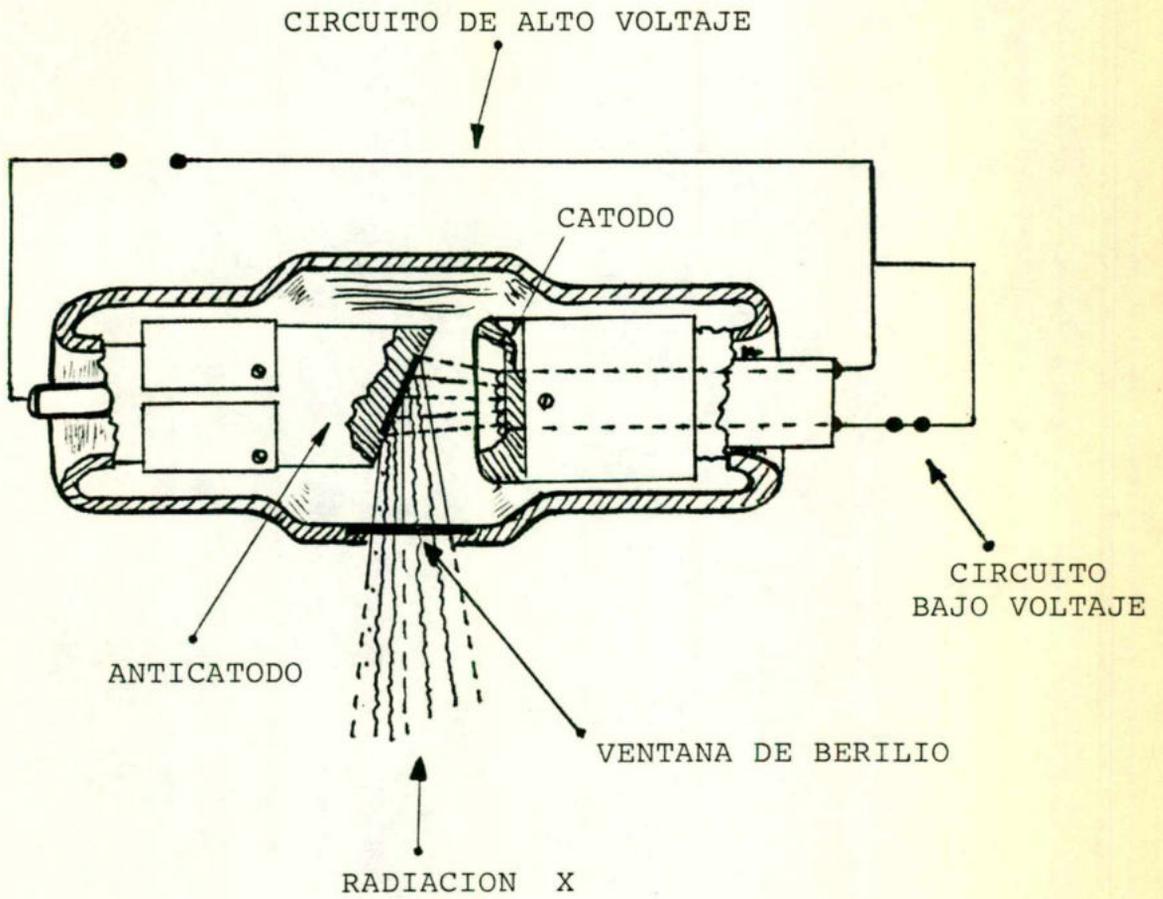
A través de la experimentación, se llegó a obtener un equipo que emulara la radiación natural de ciertos materiales. La radiación así obtenida se le denominó Rayos "X".

Estos rayos son producidos al desacelerar bruscamente un flujo de electrones u otras partículas que se mueven a gran velocidad. En el laboratorio se obtienen utilizando una ampolla de vidrio en cuyo interior se coloca un filamento (cátodo) y un anticátodo. A la ampolla se le ha extraído el aire para estar al vacío. Figura 4.1.

FIGURA 4.1.

[8, 30]

TUBO DE RAYOS "X"



El filamento está formado por un hilo de tungsteno, el cual elevado a una temperatura suficiente, emite electrones. La temperatura es incrementada al subir la intensidad de corriente eléctrica aplicada al filamento, a mayor intensidad, mayor temperatura y mayor cantidad de electrones emitidos.

El haz de electrones, va desde el filamento hasta el anticátodo, el cual está constituido por un bloque de metal de buena conductividad térmica, como el cobre, mismo que es protegido por un metal de alto punto de fusión. El anticátodo tiene una forma variable y se coloca con una inclinación de 20 a 30° con respecto a la dirección del haz de electrones.

Cuando incide el haz electrónico sobre el anticátodo, los electrones del haz chocan con algunos electrones de los átomos del anticátodo, desprendiéndolos o desplazándolos de sus niveles energéticos, cada lugar que queda vacante es ocupado por otro electrón proveniente de un nivel de menor energía, o bien, el electrón desplazado retorna a su lugar, emitiéndose en ambos casos una cierta cantidad de energía. Las radiaciones emitidas por el desplazamiento de los electrones de los niveles de energía del átomo, poseen un amplio rango de longitudes de onda con intensidades de distribución regular, denominándose radiación continua.

Cuando el voltaje de la ampolla o tubo alcanza un valor determinado, algunas de las radiaciones, elevan su intensidad y

se sobreponen a las restantes, llamándose entonces, radiación característica. Siendo esta radiación particular para cada elemento metálico utilizado en el anticátodo.

Ya en la práctica los equipos de Rayos "X", constan esencialmente de un cabezal en el que van instalados los transformadores de bajo y alto potencial y el tubo donde se producen los Rayos "X", así como de una caja de control, mediante la cual es regulada la corriente y el potencial para cada inspección en particular.

En el caso del manejo y traslado del equipo de Rayos "X" para la inspección de soldadura en campo, se debe considerar un transporte, generalmente una camioneta Pick-Up, que contenga un laboratorio fotográfico a prueba de luz, con todo lo necesario para el revelado de los rollos, mas una planta generadora de electricidad, transformadores eléctricos, accesorios para la toma de las radiografías y los equipos necesarios para la medición, control y protección de radiación.

La obtención de la placa radiográfica, se realiza de la siguiente manera:

Al incidir los Rayos "X" sobre la soldadura, algunos de estos rayos, son absorbidos dentro del metal de la soldadura y el metal base, los restantes rayos atraviezan el material, registrándose en una película sensible a tales rayos. El registro consiste en la proyección de una sombra de la imagen

del material, que aparece en la película al ser revelada, con un grado de obscurecimiento proporcional a la cantidad de Rayos "X" que llegaron a la película.

De tal forma que si existe una discontinuidad de menor densidad que la del material bajo inspección, se reducirá el espesor en el área que ocupe, por lo tanto en dicha área, pasará mayor cantidad de radiación, lo que ocasionará que en la película se forme una zona de mayor densidad o ennegrecimiento, precisamente de la forma del contorno de la discontinuidad.

La imagen de las discontinuidades o defectos registrados en una radiografía, será más exacta a medida que se aumente la distancia entre la fuente de radiación y la película, y que esta última este lo más próxima posible al material bajo inspección.

La calidad de una radiografía, depende primordialmente de la selección adecuada del potencial en el tubo de Rayos "X", para obtener así la radiación con la longitud de onda adecuada al espesor del material que se va a inspeccionar.

La norma API-1104, nos indica en la tabla 4.1., potenciales recomendables para la obtención de buenos registros radiográficos de la tubería de acero utilizada comúnmente en líneas de conducción.

La película radiográfica utilizada consta de una base transparente de poliéster recubierta por ambos lados, con una

TABLA 4.1.

[9, 138]

POTENCIALES PARA INSPECCION CON RAYOS "X"

DE TUBERIA DE ACERO API-5 LX

NORMA API-1104

MM	ESPESOR DE LA TUBERIA		POTENCIAL MAXIMO DE RAYOS "X" (KV)
	DE PULG	HASTA MM PULG	
		6.35 (1/4)	110
7.14	(9/32)	9.52 (3/8)	130
10.31	(13/32)	15.87 (5.8)	160
16.66	(21/32)	22.20 (7/8)	200
23.00	(24/32)	38.10 (1 1/2)	300

capa muy fina de una emulsión que contiene cristales o granos de bromuro de plata, los cuales reaccionan ante la radiación recibida.

La película para uso radiográfico industrial, se clasifica de la siguiente manera: [8, 66]

TIPO DE PELICULA	DESCRIPCION		
	VELOCIDAD	CONTRASTE	GRANULACION
1	BAJA	MUY ALTO	GRANO EXTRAFINO
2	MEDIA	ALTO	GRANO FINO
3	ALTA	MEDIO	GRANO GRUESO

Por regla general en la inspección de soldadura en líneas de tubería, se utilizan películas de grano fino, en espesores de 1/4" o menores. Se utilizan también en espesores mayores a 1/4" cuando se desea una mayor sensibilidad.

Las películas de grano grueso se emplean en espesores mayores o bien en espesores medios, cuando se desea reducir el tiempo de exposición drásticamente.

4.1.1.1. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL USO DE RAYOS "X"

VENTAJAS TECNICAS

a.- Por ser radiación generada al aplicarse un potencial

se puede obtener radiación de la longitud de onda necesaria para inspeccionar correctamente el espesor de cualquier material hasta de 3" de espesor, cumpliendo ampliamente con las especificaciones más estrictas.

b.- Su punto focal de radiación es el más apropiado para radiografiar cualquier tipo de material. Por ejemplo, para radiografiar soldaduras hasta de 38.1 mm (1 1/2) de espesor, dicho punto focal no pasa de 1.5 mm.

c.- Por su alta velocidad de exposición es posible radiografiar soldaduras inmediatamente después de ser aplicadas.

d.- En aplicaciones de mantenimiento preventivo, permite observar con claridad y precisión, si los defectos que contenga una soldadura o material, se han mantenido sin progresar a través del tiempo, mediante la comparación de una radiografía actual con una tomada tiempo atrás.

e.- Su aplicación para la detección de áreas corroídas, en tuberías en las que no es posible inspeccionar visualmente su pared interior, permite localizar y precisar el tipo de corrosión por la nitidez de la imagen proyectada.

f.- Da mayor seguridad para aceptar o rechazar un defecto con menores posibilidades de error, por la nitidez con que aparece la imagen que proyecta.

DESVENTAJAS TECNICAS

a.- Cuando se utilizan Rayos "X" de bajo voltaje, de gran longitud de onda, el contraste que se obtiene no permite observar diversos rangos de espesor en una misma radiografía, como en el caso de bridas soldadas a la tubería en las válvulas de seccionamiento.

b.- La necesidad de alimentar el equipo con energía eléctrica de 110 a 220 voltios, especialmente en campo.

c.- El tamaño del cabezal generador de los Rayos "X", que en algunos casos hace difícil o imposible tomar la radiografía cuando se requiere que la fuente se introduzca por un orificio menor de 7" de diámetro.

VENTAJAS EN RENDIMIENTO

a.- Al poder regular a voluntad la intensidad de la radiación, es posible radiografiar en un mínimo de tiempo. Se puede considerar que una velocidad de exposición en soldadura de tubería es de 10 a 100 veces más rápida que la de los rayos GAMMA.

b.- Cuando es necesario, permiten que pueda ser tomado un volumen mayor de radiografías, con el mismo equipo y personal, en un lapso determinado.

DESVENTAJAS EN RENDIMIENTO

a.- Al inspeccionar espesores mayores de 3.81 cms. ($1\frac{1}{2}$ "), en acero o su equivalente en otros materiales, el rendimiento es menor si no cuenta con equipo de kilovoltaje apropiado para atravesar el material en un tiempo razonable.

MEDIDAS DE SEGURIDAD EN EL MANEJO DEL EQUIPO DE RAYOS "X"

a.- El hecho de que el equipo de los rayos "X" emita radiaciones únicamente al aplicarse un potencial eléctrico, lo hace el más seguro y confiable.

b.- La radiación siempre es dirigida, es un haz que cubre únicamente la soldadura que se va a radiografiar.

c.- No hay peligro en caso de robo o extravío aún si se tratara del equipo completo.

d.- En los equipos modernos, por estar los transformadores de alto voltaje dentro del cabezal, no hay riesgo de algún accidente eléctrico.

4.1.2. INSPECCION CON RAYOS GAMMA

De forma similar al descubrimiento de los Rayos "X", un hecho fortuito determinó la existencia de otras fuentes emisoras de radiación.

En 1896, Henry A. Becquerel, al estar estudiando los fenómenos

de la fluorescencia, expuso cristales de sulfatos dobles de uranito, radical UO^{2+} , a la luz solar. Los cristales emitieron radiaciones que ennegrecían una placa fotográfica envuelta en papel obscuro, al terminar el experimento encontró imágenes de los cristales en la película. Posteriormente interpuso un objeto metálico entre los cristales y la placa fotográfica, encontrando que en la misma se obtenía un perfil o imagen del objeto metálico colocado.

De aquí se descubrió que el origen de las radiaciones era el uranio, siendo éste el primer elemento radiactivo conocido. Las investigaciones de los esposos Curie, llevaron al descubrimiento de otros elementos emisores de radiación como el torio, polonio y el radio.

En el estudio de las radiaciones emitidas por estos elementos, se observó que los rayos se desviaban al cruzar campos magnéticos. En 1903 Rutherford, demostró que por este medio se podrían separar la radiación emitida en tres tipos: Radiaciones alfa (α) que se desvían ligeramente; radiaciones beta, (β) que se desvían con mayor intensidad; y radiaciones gamma, (γ), que no se ven afectadas en su desplazamiento por los campos magnéticos.

Los rayos α tienen una carga eléctrica positiva y son constituidos por núcleos de los elementos radiactivos a gran velocidad. Su poder de penetración es casi nulo, ya que son

detenidos y absorbidos por una hoja de papel.

Los rayos β poseen carga negativa, y son en sí electrones emitidos por los núcleos de los átomos radiactivos con una velocidad próxima a la de la luz. Su energía es menor a la de los rayos α , pero son más penetrantes por tener longitudes de onda más cortas, al grado de tener que utilizarse una lámina de plomo de un milímetro de espesor para absorberla completamente.

La radiación γ , no es desviada por los campos magnéticos y no tienen masa. Son ondas electromagnéticas similares a los Rayos "X", de menor longitud de onda y por consecuencia de mayor penetración.

En la actualidad las fuentes de radiaciones Gamma, son isótopos radiactivos obtenidos artificialmente al bombardear con neutrones los átomos del elemento que se desea activar, de tal modo que sus núcleos quedan sobrecargados de electrones.

Los radioisótopos empleados en radiografía, Gamagrafía en este caso, se muestran en la tabla 4.2.

TABLA 4.2.

RADIOISOTOPOS COMUNMENTE EMPLEADOS

ISOTOPOS RADIOACTIVOS	VIDA MEDIA	KILOVOLTAJE EQUIVALENTE
Cobalto 60 (Co 60)	5.3. Años	1200 KV
Cesio 137 (Cs 137)	3.0 Años	660 KV
Iridio 192 (Ir 192)	75 Días	375 KV

Aún cuando existen cientos de isótopos radiactivos es muy reducido el número de estos que son adecuados para la radiografía industrial. Entre ellos destaca el Iridio 192, cuyo uso se ha extendido debido a las siguientes razones:

a.- Su vida media no es excesivamente corta, evitando los cambios frecuentes de la cápsula radiactiva, que son incómodos y costosos. Disminuyendo los riesgos por el manejo de la cápsula.

b.- Su actividad específica es muy alta. Esta condición permite emplear focos emisores de menor tamaño, con lo que se reduce la penumbra geométrica.

c.- Su potencia de emisiones es relativamente alta, reduciendo los tiempos de exposición.

d.- Comparado con el cobalto 60 y con el cesio 137, el iridio 192, posee la ventaja de emitir radiaciones con menor dureza desde un área focal más reducida, incrementando las definiciones de la radiografía.

En virtud de que la inspección con rayos Gamma emitidos por el iridio 192, es la utilizada en la obtención de radiografías en la construcción de líneas. En la sección 4.4 se detalla el procedimiento empleado para su obtención.

4.1.2.1. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL USO DE RAYOS GAMMA

VENTAJAS TECNICAS

- a.- No requieren de energía eléctrica para producir radiación.
- b.- La longitud de onda extremadamente corta de los rayos GAMMA, permite que sean usados para radiografiar metal grueso de forma complicada y con diferencias pronunciadas de espesor.
- c.- Cuando se usa la fuente de radiación libre, su tamaño reducido, permite su introducción en orificios muy pequeños, hasta de una pulgada de diámetro.

DESVENTAJAS TECNICAS

- a.- Su longitud de onda extremadamente corta, no permite que se obtengan radiografías en espesores menores de 5/8" , diam. que satisfagan los requerimientos de las normas aplicables.
- b.- El tamaño de la fuente de radiación, es excesiva para muchas aplicaciones, proyectando en estos casos, imágenes de las discontinuidades en forma difusa.

VENTAJAS EN RENDIMIENTO

- a.- Prácticamente no existe ninguna ventaja en rendimiento en el uso de rayos GAMMA.

DESVENTAJAS EN RENDIMIENTO

a.- Al ser su emisión de radiación por desintegración, no es posible aumentar o disminuir su intensidad, por lo que hay que esperar el tiempo necesario para que la película se exponga a la densidad adecuada.

b.- La manipulación de la fuente requiere que sea guardada en un recipiente blindado mientras se coloca o se retira la película con que se registra cada radiografía, lo cual consume tiempo.

MEDIDAS DE SEGURIDAD DE LOS RAYOS GAMMA

a.- Emite radiaciones constantes en todas direcciones, por lo tanto este tipo de rayos requieren el uso de medidas de seguridad muy rigurosas.

b.- Por ser radiación penetrante, requiere de un blindaje muy grueso para protegerse de la radiación.

c.- En caso de robo o extravío, representa un peligro muy serio por su emisión constante de radiación y por no emitir señal alguna que los indique.

d.- En el caso de cesio 137, por ser un cloruro soluble existe la posibilidad de una contaminación muy grande en caso de un accidente.

e.- La posibilidad de contaminación es mayor cuando está mal

encapsulada la fuente o cuando es manejada por personal que no está capacitado.

4.2. TECNICAS DE LA EXPOSICION RADIOGRAFICA

Al ejecutar un técnico radiólogo el trabajo de inspección de soldaduras, en muchas ocasiones se enfrenta a problemas relacionados con la disposición de los cordones de soldadura a radiografiar.

Dentro de un programa de inspección, en la construcción de una planta química pueden encontrarse especímenes bastante diferentes; en un momento dado pueden ser un tanque esférico o una tubería de 3" de diámetro los que requieran la inspección.

Por otra parte, la pieza de trabajo puede hallarse al nivel del piso o localizarse sobre una estructura elevada y lejos de cualquier soporte auxiliar.

Para salvar esta serie de problemas, es necesario contar con el equipo auxiliar suficiente y con las técnicas adecuadas para obtener la exposición correcta.

En los trabajos radiográficos es conveniente seguir dos reglas fundamentales:

La principal consiste en efectuar la exposición con la distancia mínima, fuente-película, suficiente para proporcionar la calidad radiográfica estipulada.

La segunda, indica que el haz de radiación debe encontrarse lo

más perpendicular posible a la película, y que ésta se coloque lo más cerca y paralela como las condiciones lo permitan , a la soldadura bajo inspección.

El diseño de la junta soldada, llega a ser causa de duda en los técnicos radiólogos, no obstante, casi todas las geometrías y disposiciones son salvables.

Las técnicas de mayor uso son resumidas a continuación:

A.- Técnica de exposición sencilla.- Generalmente son las más simples, dado que únicamente se determina el tiempo de exposición y se procede inmediatamente a la toma de la radiografía.

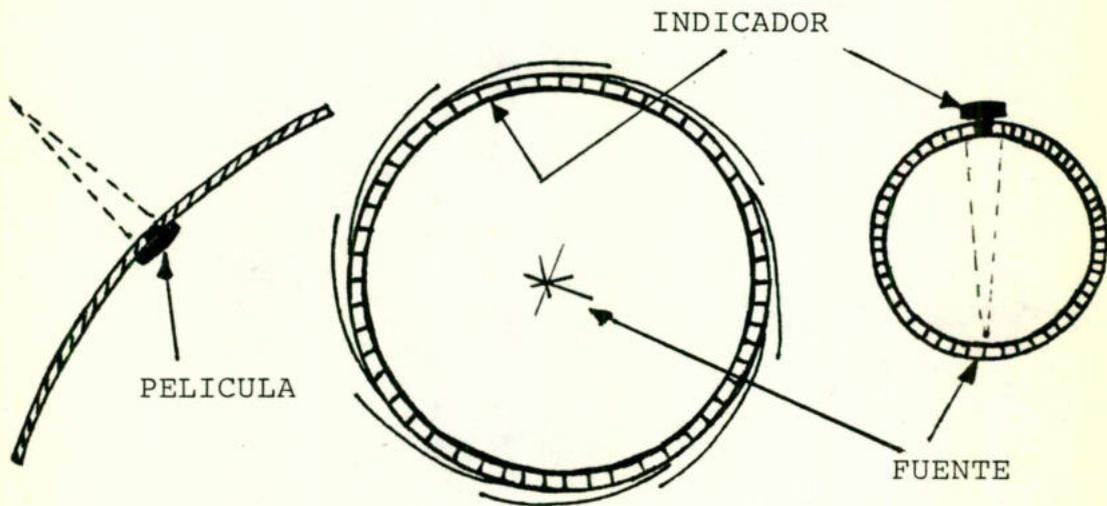
Los siguientes casos, presentan las soluciones mas adecuadas para diferentes diseños de uniones.

a.- Tubería de diámetros mayores, tanques esféricos, recipientes cilíndricos y placas estructurales. Sin duda son las estructuras más fácilmente inspeccionables, normalmente no existen problemas con las técnicas a seguir. Figura 4.2.

b.- Tubería de diámetro medio y similares. En tubería y componentes donde no es posible el acceso a su interior, es posible tomar las radiografías pegando la fuente a la pared opuesta de la seccion que se inspecciona, tal como aparece en la figura 4.3.. Es necesario determinar la pérdida de intensidad por la absorción de esta pared. Los tiempos de exposición

FIGURA 4.2.
[9, 76]

DISPOSICION DE LOS ELEMENTOS DE INSPECCION
EN ESPECIMENES DE DIAMETROS MAYORES



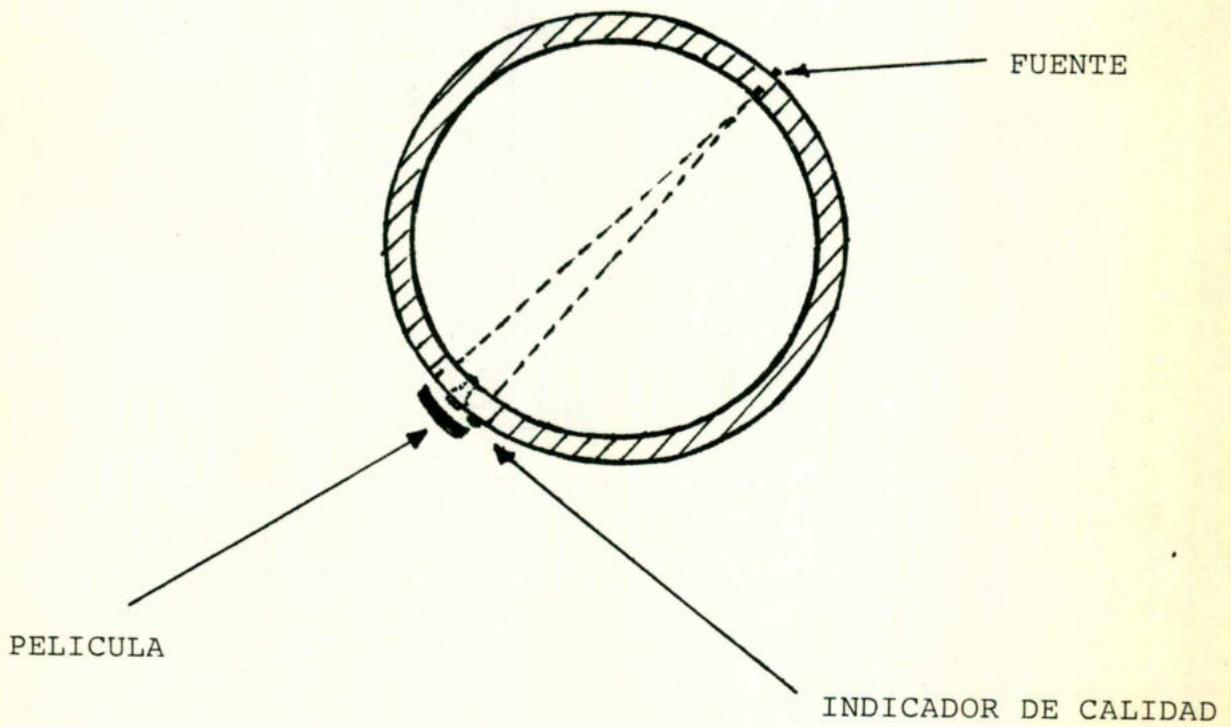
A. TUBERIA
Y RECIPIENTES
DE DIAMETRO
MAYOR

B. TUBERIA
Y RECIPIENTES
CON FACIL
ACCESO

C. TUBERIA DE
MENOR ACCESO

FIGURA 4.3.
[9,76]

DISPOSICION DE LOS ELEMENTOS DE INSPECCION
EN TUBERIA SIN ACCESO A SU INTERIOR



pueden aumentar considerablemente.

c.- Tubería de diámetros menores y similares. En estos casos es posible optar por emplear técnicas de proyección como se muestra en la figura 4.4.

Debe mencionarse que sólo una porción de la radiografía es útil, por lo que es necesario tomar un juego de ellas que cubra la extensión del componente.

En estas técnicas, el radiólogo deberá establecer en cada caso en particular, la distancia que debe existir entre la película y la fuente de radiación. Esta distancia está determinada por la ley de los cuadrados inversos y por el espesor de los materiales a inspeccionar. [9, 74]

La ley de los cuadrados inversos considera que una fuente radioactiva o de rayos "X", emite su radiación en todas direcciones con una intensidad constante, la cual es la misma que llega al espécimen, ésta es gobernada por la distancia entre ambos, variando en forma inversa al cuadrado de la separación que exista.

La figura 4.5., nos muestra este fenómeno.

Supongamos que la distancia entre la fuente A y la ventana B es de 10 cm., si se coloca una pantalla C a 20 cms. de la fuente, se observará que la radiación incidente ocupa una área cuatro veces mayor que el área de la ventana, por lo que la intensidad

FIGURA 4.4.
[9, 77]

DISPOSICION DE LOS ELEMENTOS DE INSPECCION
EN TUBERIA DE DIAMETRO PEQUEÑO

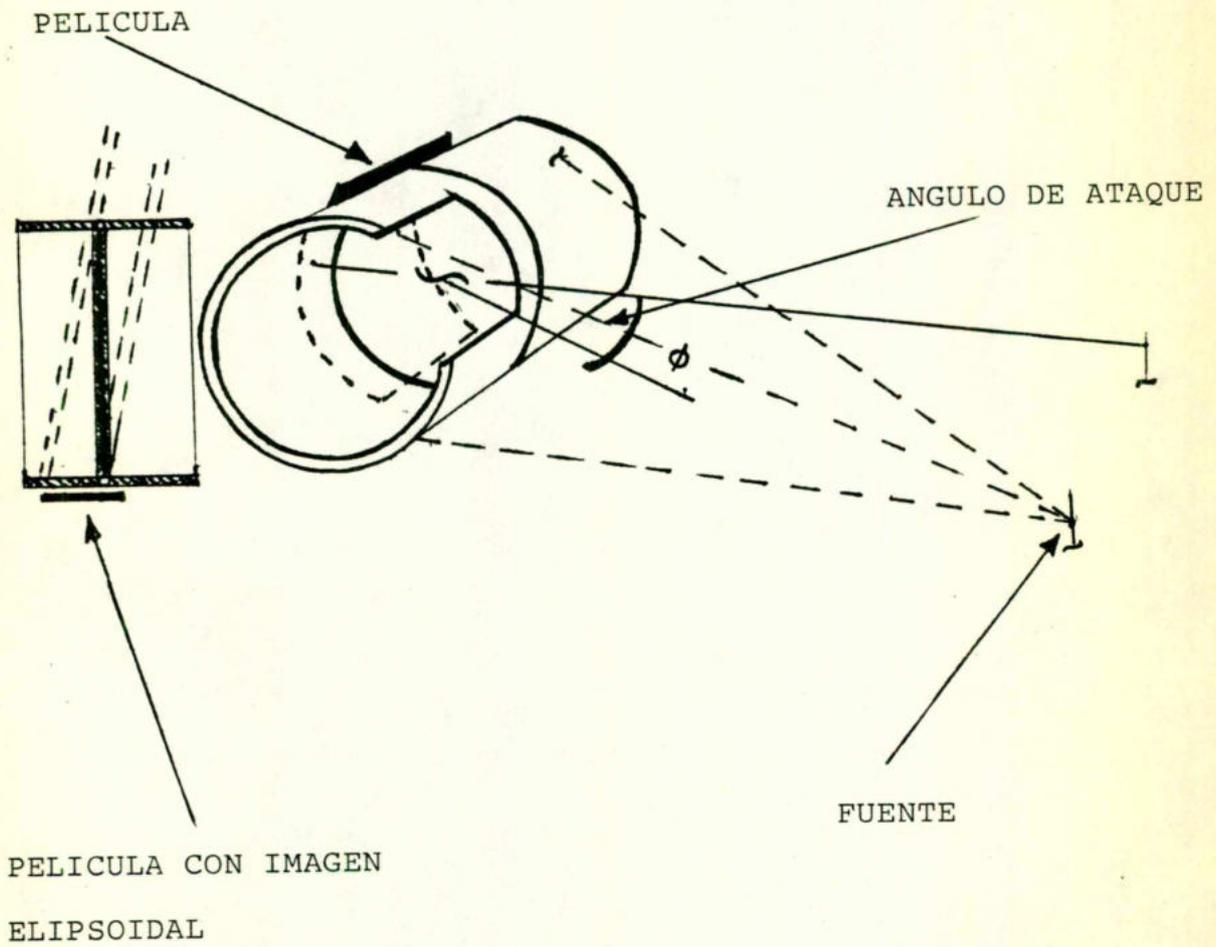
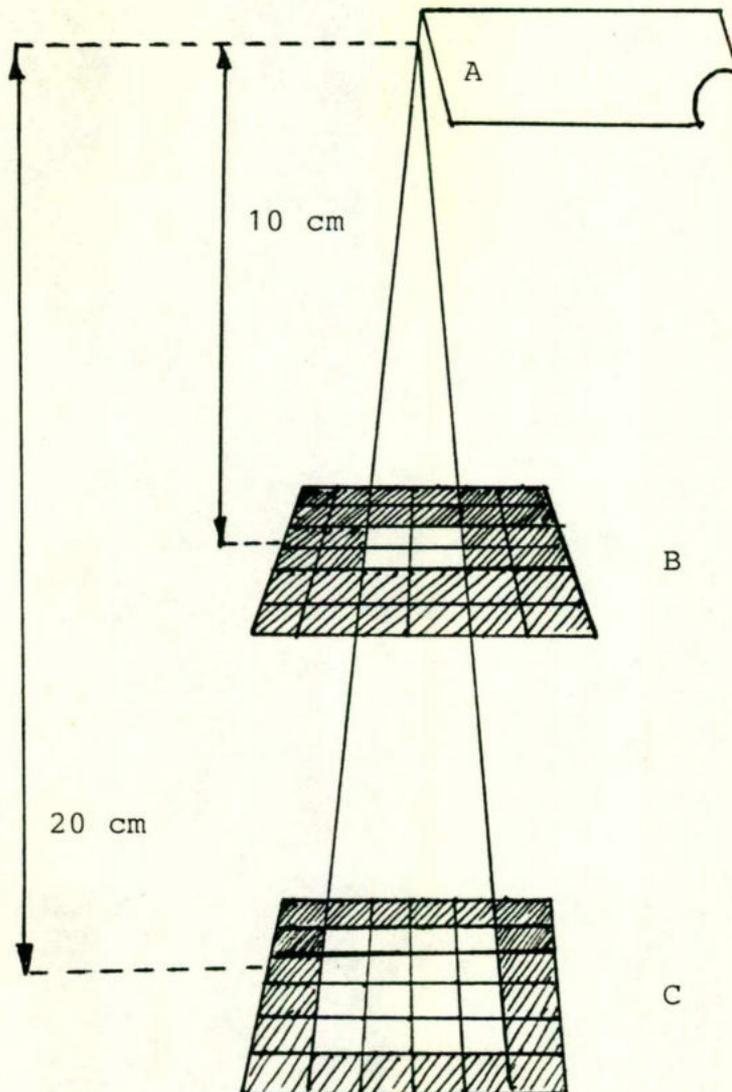


FIGURA 4.5.
[9, 67]
LEY DE LOS CUADRADOS INVERSOS



de la radiación, habrá disminuido en la misma proporción.

La intensidad de la radiación, se calcula con la siguiente ecuación: [9, 68]

$$I_d = \frac{\Delta \times A}{d^2}$$

Donde I_d , es la intensidad de la radiación a una distancia, d es la fuente, Δ es una constante específica para la fuente utilizada y A es su actividad.

El otro aspecto a considerar, en la determinación de la distancia fuente-película, es la pérdida de intensidad de la radiación a causa de la atenuación que sufre como consecuencia de su absorción en el material, que a su vez varía con el espesor. En este punto se deben apoyar en las tablas ya establecidas que nos proporcionan el grado de absorción de la radiación, dependiendo del tipo de material y su espesor.

En la práctica, el medio más rápido y usual en la determinación fuente-película, y el tiempo de exposición, es la utilización de reglas de cálculo especialmente diseñadas.

El empleo de la regla de cálculo se apoya en tablas como la mostrada para el iridio 192, Tabla 4.3., en las que se relaciona la dosis de radiación requerida por cada tipo de película comercial para obtener una densidad óptima.

La figura 4.6. presenta un esquema de la regla de cálculo de la exposición.

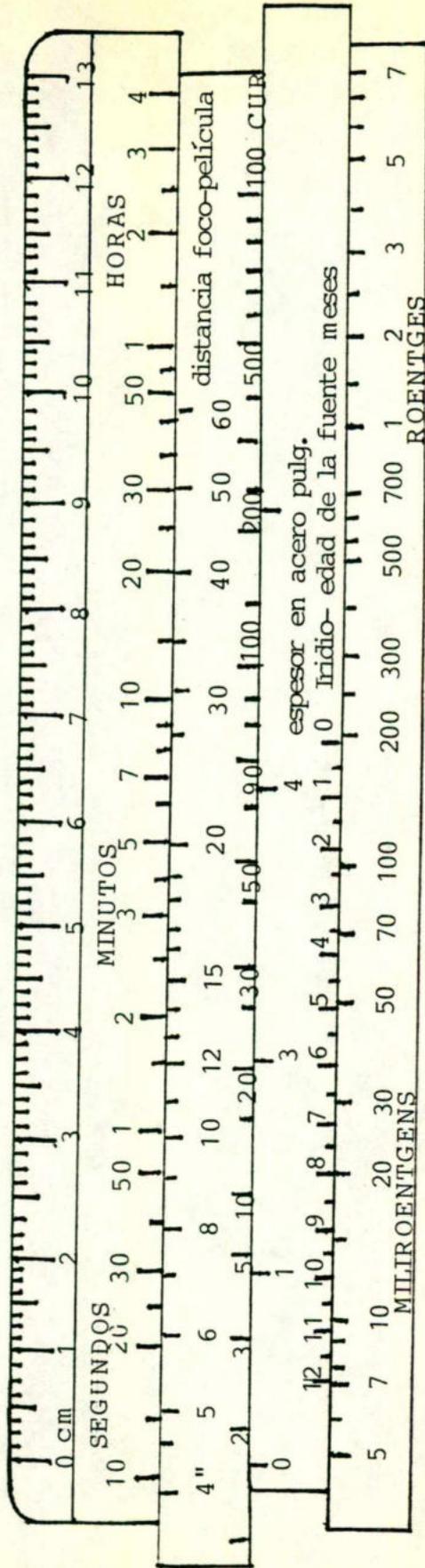
TABLA 4.3.
[9, 72]

DOSIS DE EXPOSICION (ROENTGENS) REQUERIDAS POR LAS PELICULAS
RADIOGRAFICAS COMERCIALES PARA ALCANZAR LAS DENSIDADES
INDICADAS

PELICULA						
Du Pont 75	0.250	0.430	0.600	0.800	1.0	1.5
GAF 1600	0.350	0.600	0.850	1.1	1.4	2.1
GAF 800	0.430	0.700	1.0	1.3	1.6	2.4
EKC AA	0.530	0.850	1.2	1.5	1.8	2.5
Du Pont 65	0.620	1.0	1.4	1.8	2.2	3.1
GAF 400	1.2	1.8	2.4	3.1	3.7	5.1
Do Pont 55	1.1	1.8	2.5	3.2	3.9	5.4
EKC T	1.2	1.8	2.5	3.1	3.8	5.2
GAF 200	2.4	3.8	5.2	6.6	8.0	11
EKC M	1.9	3.0	4.1	5.3	6.4	8.7
Du Pont 4	3.0	4.8	6.7	8.5	10	14
GAF 100	4.6	7.0	9.4	12	14	19
EKC R	7.1	10	12	15	17	22

FIGURA 4.6
[8, 118]

REGLA DE CALCULO DE ESPOSICION
RADIOGRAFICA



El primer caso consiste en localizar en la escala inferior, la dosis requerida por la película radiográfica, su valor se hace coincidir con la edad de la fuente, desplazando la reglilla inferior. El siguiente paso, es localizar el espesor del material por radiografiar y hacer coincidir con él, el valor en curies de la actividad de la fuente, cuya escala se encuentra en la reglilla superior.

Manteniéndose en esa posición las reglillas, podrá encontrarse la mejor relación entre las distancias fuente-película y tiempo de exposición, en las escalas superiores.

Lógicamente, a menor distancia será menor el tiempo necesario para afectar la película, pero la distancia deberá ser suficiente para evitar los problemas de falta de definición y contraste.

4.3. INDICADORES DE LA CALIDAD DE IMAGEN

Para asegurar que la técnica radiográfica utilizada en una inspección, es la correcta, en cada radiografía debe aparecer un indicador de la calidad de imagen, (IQI) que será una evidencia permanente de su calidad final.

Los indicadores de calidad o penetrámetros, son piezas estandarizadas de prueba hechos con un material radiográficamente similar al que es examinado. Su forma es pequeña, rectangular, con tres agujeros de diámetros T, 2T y 4T, donde T es el espesor del penetrámetro.

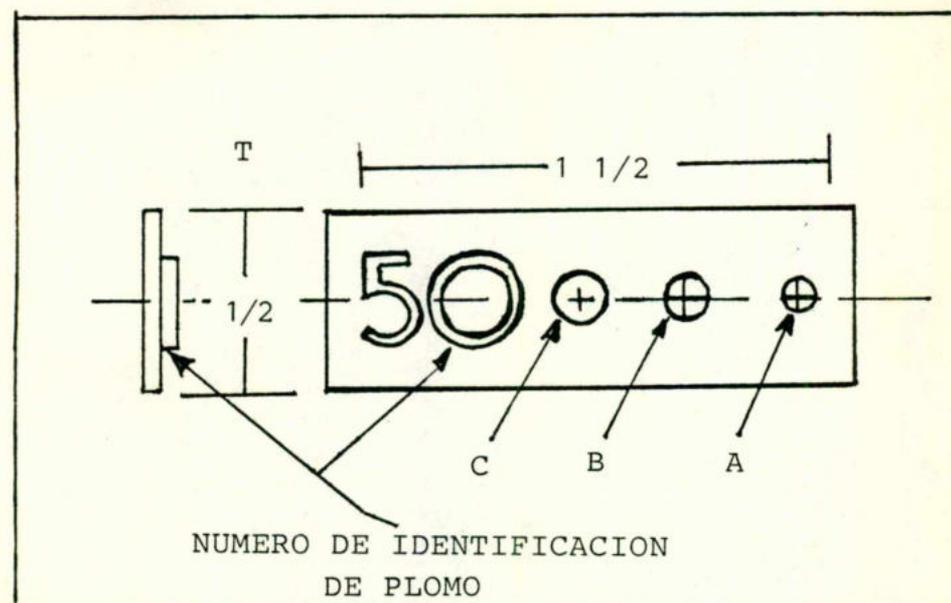
Los penetrámetros arriba descritos son los de mayor uso y son establecidos por la Sociedad Americana en Pruebas de Materiales (ASTM).

La norma API-1104, utiliza el penetrámetro establecido por la ASTM, indicando que el mismo, deberá tener la configuración mostrada en la figura 4.7. [9, 84]

Los diámetros mínimos de los agujeros son de 0.010, 0.020 y 0.040 pulgadas, debido a la dificultad para barrenar diámetros menores en láminas muy delgadas de cada material.

Dado que los penetrámetros de espesores mayores a 0.160 pulgadas podrían alcanzar dimensiones muy grandes en su presentación rectangular, la norma ASTM E-142, especifica penetrámetros

FIGURA 4.7.
NORMA API 1104
[6, 313]
PENETRAMETRO



- A Diámetro = (2) (T)
- B Diámetro = (3) (T)
- C Diámetro = (4) (T)

circulares, con un diámetro igual a 4T, conteniendo dos barrenos de diámetros T y 2T.

Los indicadores de calidad, deben llevar un número de plomo que determine su espesor en milésimas de pulgada.

La tabla 4.4 nos muestra los espesores y números de identificación de los penetrámetros.

TABLA 4.4.

[7, 36]

ESPESOR Y NUMERO DE LOS PENETRAMETROS

ESPESOR SOLDADO (PULGADAS)	ESPESOR DEL PENETRAMETRO (PULGADAS)	NUMERO DE IDENTIFICACION
Hasta 1/4	0.005	5
Hasta de 1/4" hasta 3/8	0.0075	7
Hasta de 3/8" hasta 1/2"	0.010	10
Hasta de 1/2" hasta 5/8"	0.0125	12
Hasta de 5/8" hasta 3/4"	0.015	15
Hasta de 3/4" hasta 7/8"	0.0175	17
Hasta de 7/8" hasta 1	0.020	20
Hasta de 1 hasta 1 1/4"	0.025	25
Hasta de 1 1/4 hasta 1 1/2"	0.030	30
Hasta de 1 1/2 hasta 2	0.035	35

Los penetrámetros permitidos especifican un cierto número de

niveles de sensibilidad radiográfica. De esta manera, puede hablarse, por ejemplo, de un nivel de calidad 2-2T. El símbolo 2, indica que el penetrámetro debe tener un espesor igual al 2 % del material a radiografiar; el segundo 2T, indica que en la radiografía terminada deberá verse claramente el agujero cuyo diámetro es igual a dos veces el espesor del penetrámetro.

TABLA 4.5.
[9,85]

NIVELES DE CALIDAD RADIOGRAFICA DE MAYOR USO
(SEGUN NORMA ASTM E-142)

NIVEL DE INSPECCION	ESPESOR DE PENETRAMETRO	DIAMETRO DEL AGUJERO ESENCIAL	SENSIBILIDAD EQUIVALENTE
<u>NORMAL</u>			
2-1T	2% del espesor	1T	1.4
2-2T	del especimen	2T	2.0
2-4T		4T	2.8
<u>ESPECIAL</u>			
1-1T	1% del espesor	1T	0.7
1-2T	del especimen	2T	1
4-2T	4% del espesor del especimen	2T	4

Usualmente el penetrámetro se coloca sobre la superficie del material a inspeccionar, de cara hacia la radiación y junto a la

placa radiográfica, de tal forma que aparezca en la imagen radiográfica.

4.4. LA RADIOGRAFIA EN LA CONSTRUCCION DE LINEAS

Como vimos en la sección correspondiente, a la par de la producción de soldadura, debemos de contar con el equipo para la inspección radiográfica, para poder detectar con toda oportunidad los defectos o sanidad de la soldadura sin retrasar las fases constructivas de las líneas.

En este caso en particular, el personal y equipo de radiografiado, están constituidos por un técnico, debidamente calificado; un ayudante; la camioneta adaptada para contener el equipo de Rayos "Gamma", así como el cuarto oscuro para el almacenaje y revelado de la película.

De esta forma todo lo necesario es transportado hasta los puntos más difíciles de alcanzar por las condiciones del terreno en una forma rápida y segura.

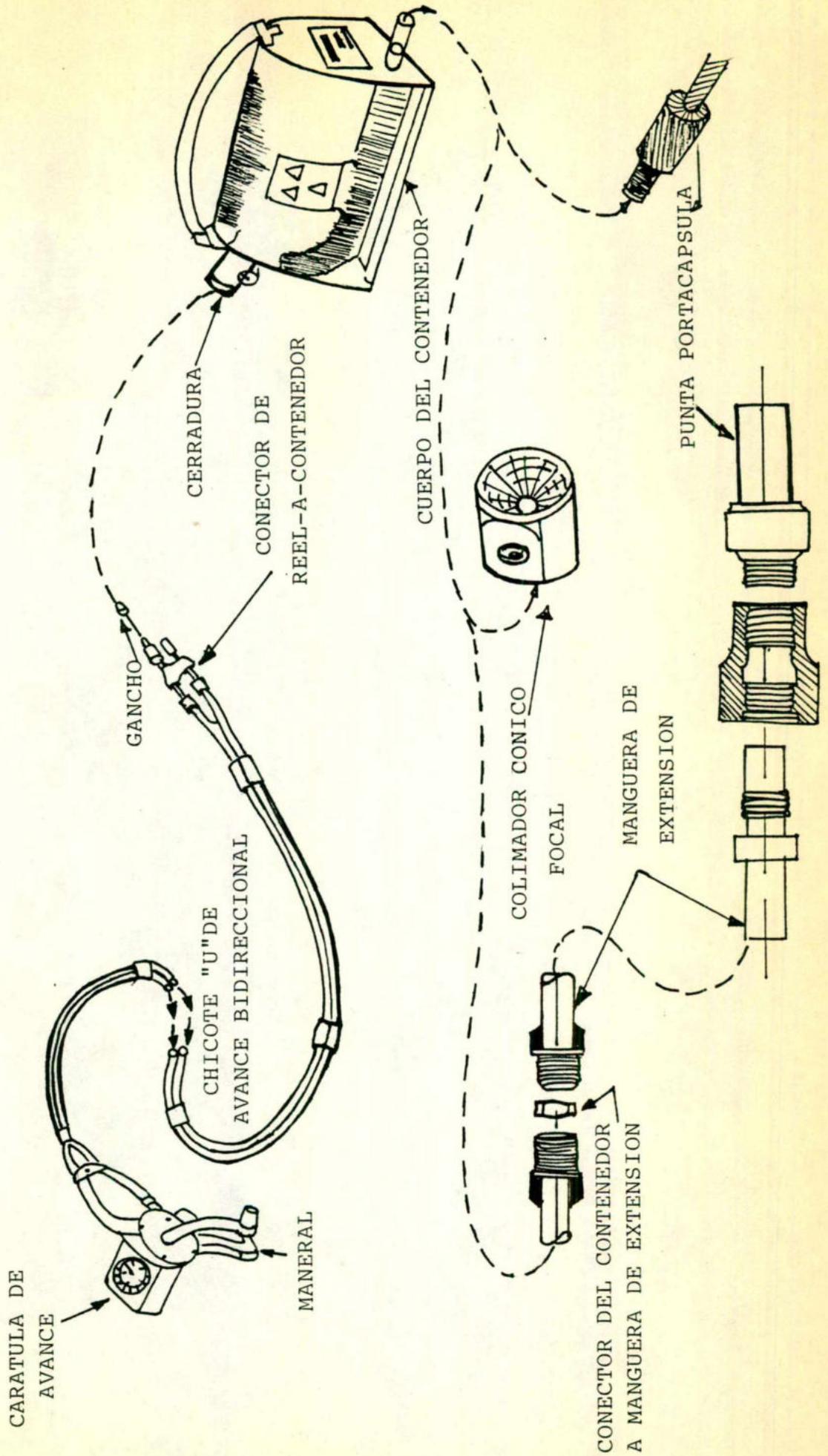
La figura 4.8 nos muestra en detalle el equipo utilizado.

La fuente de radiación, utilizada es iridio 192, el cual es un metal con una vida media de 75 días y cuya radiación es de una longitud de onda equivalente a la producida por un aparato de Rayos "X" de 375 KV.

La vida media de cualquier isótopo radiactivo, es el tiempo que se necesita para que su actividad se reduzca a la mitad de su valor inicial. La actividad del isótopo es el número de átomos

FIGURA 4.8.
[10, 151]

EQUIPO RADIOGRAFICO DE RAYOS GAMMA



que se estabilizan por segundos. Su unidad es el CURIE, que se define como la actividad que se obtiene cuando se estabilizan 3.7×10^{10} átomos cada segundo.

El contenedor mostrado en la figura protege a los técnicos de la radiación. En su interior lleva un ducto en forma de "S" alargada, donde se aloja la fuente, de tal forma se evita el escape de la radiación. Este ducto tiene un recubrimiento que consta de 4 capas; La primera es de uranio empobrecido, la segunda es de titanio, la tercera de plomo y la cuarta es de acero inoxidable.

La práctica de la toma de radiografías es la siguiente: considerando las variables del tipo de material, el espesor y el diámetro del mismo, se determina qué tiempo de exposición a la radiación Gamma se debe utilizar, según el tipo de película utilizada. En un segundo paso, la película fotográfica, es colocada en un aditamento llamado Chasis que tiene la función de contener la película para evitar su exposición a la luz solar y la función de servir de pantalla o filtro para la intensificación de la radiación, reduciendo así el tiempo de exposición.

Existen dos tipos de pantallas: las de plomo y las fluorescentes. Las de plomo son las utilizadas en la inspección de líneas, constan de una base de cartón con una hoja delgada de plomo de 0.005 a 0.010" de espesor. Cuando los rayos Gamma

llegan a estas pantallas, se desprenden electrones que exitan más fácilmente los granos de la película radiográfica.

La acción de las pantallas fluorescentes, es similar, aunque en éstas se utiliza como base, un material plástico sobre el cual se deposita una capa de tungstanato de calcio, que es un compuesto con propiedades fluorescentes.

El método para inspeccionar tuberías, consiste en colocar la fuente de radiación sobre la superficie exterior del tubo, opuesta al tercio de la unión en que se coloca la película fotográfica de su chasis. Dependiendo del diámetro del tubo, será necesario cambiar de posición la fuente de radiación, así como cambiar el chasis por otro con película virgen, de esta manera, para la inspección de la mayoría de los diámetros de tubería se obtienen tres radiografías por cada junta de soldadura inspeccionada.

La figura 4.9 nos ilustra lo expresado líneas anteriores.

Para efectos de control de cada junta de soldadura radiografiada, se estampa la tubería con un número consecutivo de junta. Este número de junta, así como la descripción de la obra en construcción, deberán aparecer en la radiografía, con tal objeto, se colocan números y letras de plomo entre el chasis y la película radiográfica. Como en cada junta se requieren de tres radiografías, se identifica cada una con las letras A, B, o C.

FIGURA 4.9
[10, 154]

EXPOSICION DE RADIOGRAFIA CON RAYOS GAMMA

ESQUEMA DE INSTALACION DE LA FUENTE

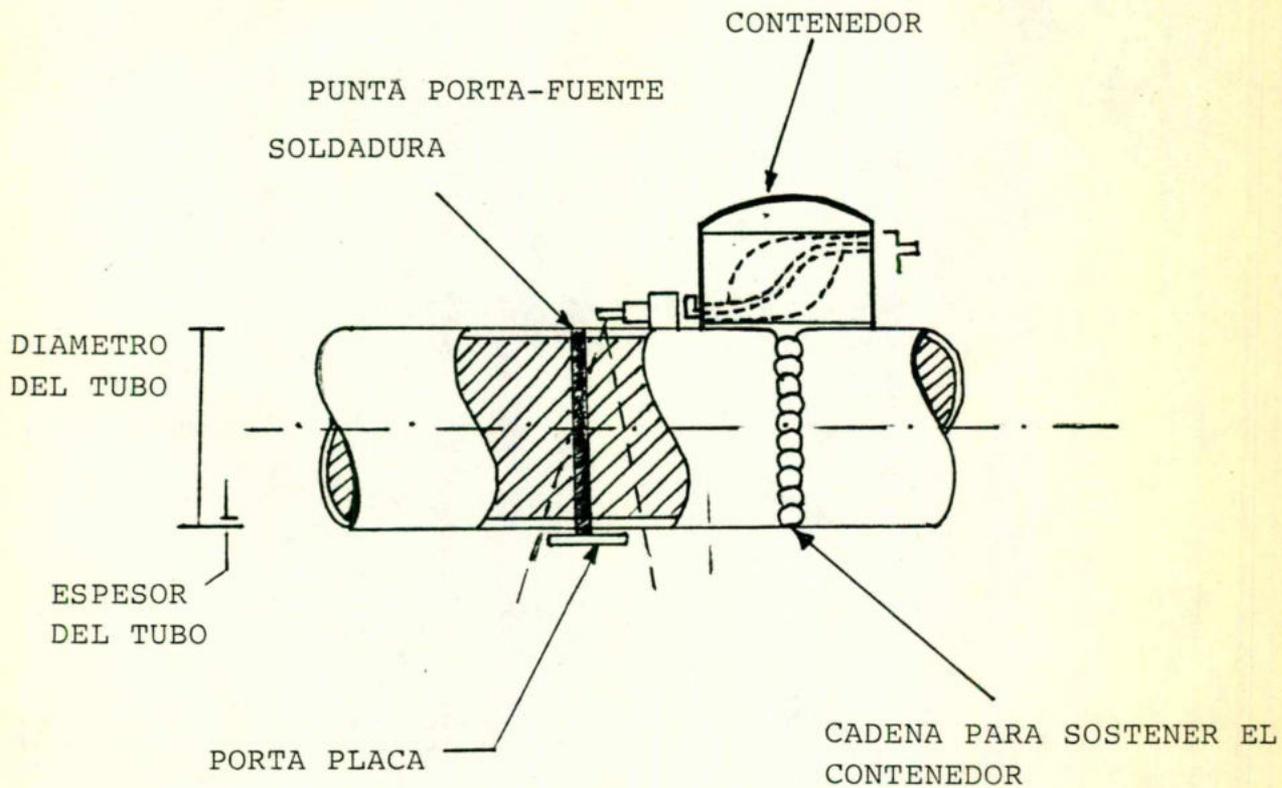
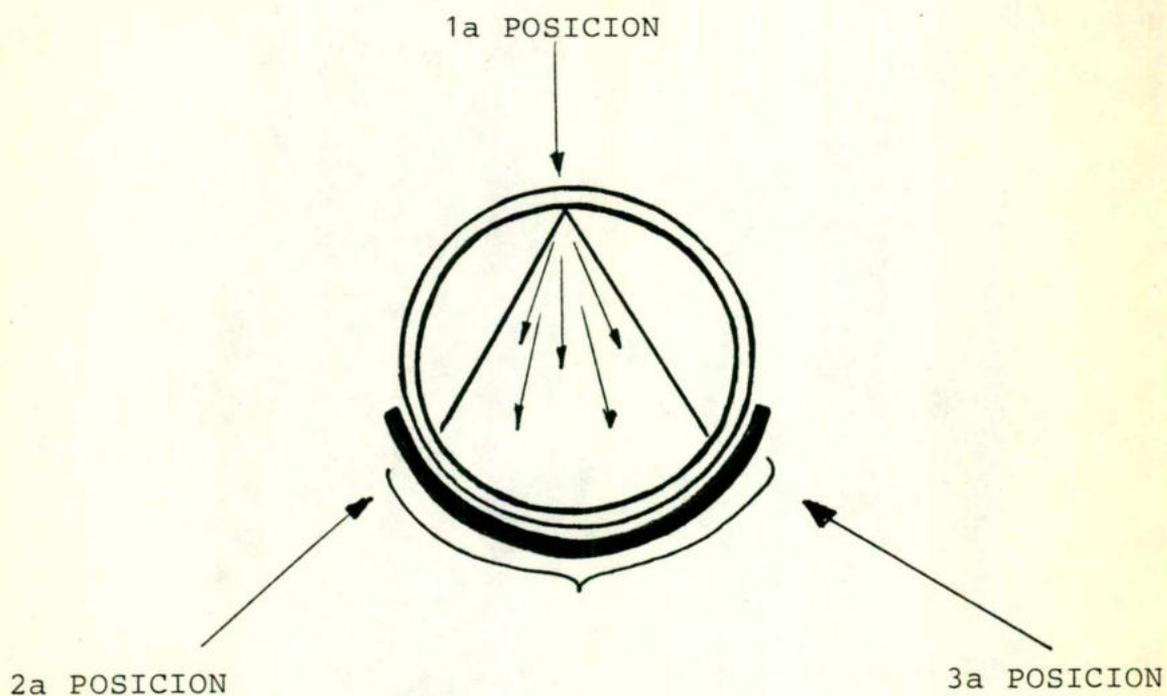


FIGURA. 4.10

[8, 18]

POSICIONES PARA LA TOMA DE EXPOSICIONES



POSICION PARA RADIOGRAFIA, SE OBSERVA UN TERCIO EN CADA EXPOSICION, PARA UNA OBSERVACION DEL 100% TENDRAN QUE TOMARSE EN LAS TRES POSICIONES.

Al final de la jornada el técnico radiólogo, deberá de entregar a la supervisión el reporte de todas las juntas inspeccionadas. Estos reportes, elaborados en formatos preestablecidos por la compañía que presta este tipo de servicios, deberá contener todos los datos necesarios para determinar las condiciones de las soldaduras inspeccionadas. De acuerdo con los resultados obtenidos, la supervisión indicará a la Compañía Constructora, cuáles juntas de soldadura son objeto de rechazo o son susceptible de reparación.

El reporte deberá contener como mínimo los siguientes datos:

- a) Identificación de la soldadura
- b) Resultado del estado de la soldadura (si es aceptable o no de acuerdo a las especificaciones, en este caso de la API-1104).
- c) Defectos de la soldadura o del material observados en cada radiografía.
- d) Norma de aceptabilidad empleada (API-1104). Al reporte de inspección, deberán anexarse las radiografías para que en forma independiente al resultado emitido por el técnico radiólogo, la supervisión efectúe una revisión de cada radiografía.

4.5. ACEPTACION DE LAS RADIOGRAFIAS

Con el objeto de que la interpretación de una radiografía proporcione una información completa de la sanidad de las soldaduras es indispensable que la placa radiográfica muestre un buen contraste, lo cual se puede juzgar fácilmente al comparar la imagen del cordón de soldadura con la del metal base. Las indicaciones de la soldadura, deben exhibir buena definición, una regla práctica para comprobarlo es, observar la imagen de los números de plomo o el penetrámetro para ver si hay o no penumbra en su contorno.

Tanto la definición como el contraste radiográfico, quedan comprendidos en un concepto llamado sensibilidad, el cual se refiere al tamaño de la discontinuidad más pequeña que puede verse en una radiografía.

El uso del penetrámetro, es el medio empleado para comprobar si se ha logrado la sensibilidad requerida. En todas las radiografías, se debe de distinguir el contorno del penetrámetro empleado, así como su número de identificación y el agujero esencial que tiene la función de crear una discontinuidad artificial. Cuando el penetrámetro aparece de la forma arriba indicada, significa que en la radiografía se han detectado todas aquellas discontinuidades que tienen un tamaño igual o mayor del agujero esencial del penetrámetro y en consecuencia la

interpretación será sobre la base de que la información que nos proporciona la radiografía es confiable. Serán motivo de rechazo todas las radiografías en las que no se haya utilizado el penetrámetro o si éste no aparece en la forma exigida.

Otro aspecto importante en la aceptación de la radiografía es el procesado de la película, ya que cualquier defecto del revelado podría confundirse con una discontinuidad de la soldadura o podría ocultar una discontinuidad real.

A continuación se describen algunos defectos del procesado de la película y sus causas:

a) ELEVADA DENSIDAD.- Puede ser causada por una sobre exposición a la radiación. En tal caso se debe de reducir el tiempo de exposición al que sea más apropiado para obtener la densidad requerida. Otras causas son: un tiempo excesivo de revelado, una solución reveladora muy caliente o exposición de la película virgen a la luz solar.

b) BAJA DENSIDAD.- La causa más común es una exposición insuficiente a la radiación. Por consiguiente se deberá incrementar la exposición hasta alcanzar la densidad óptima. Puede ser también el resultado de un sub-revelado debido a un tiempo de tratamiento insuficiente o al uso de una solución reveladora muy fría o muy débil. Lo más conveniente es aumentar el tiempo de revelado o bien reemplazar la solución.

c) QUEBRADURA DE PELICULA.- Debido a mal manejo de la

película al momento de montarse o desmontarse del chasis. Una película quebrada, se puede reconocer por su forma de arco, semejante al contorno de una uña, si se produce antes de la exposición, aparecerá la marca con menor densidad. Si la quebradura ocurre después de la exposición, la marca aparece en forma oscura.

d) MARCAS DE PRESION.- Son áreas , generalmente circulares, de la radiografía que presentan una baja densidad, debido a que ha caído un objeto pesado sobre el chasis, antes de la exposición.

e) MARCAS DE ESTÁTICA.- Resultan también de un manejo descuidado de la película, que da lugar a fricción y descarga eléctrica. Es importante evitar el contacto de la película con cualquier otro objeto que no sea el chasis o el proceso de revelado. Las marcas de estática aparecen como una área oscura pequeña, de la cual salen líneas oscuras y ramificaciones.

f) MANCHAS.- Se pueden producir manchas circulares oscuras sobre la radiografía, debido a que le ha caído, revelador, agua, sudor, fijador, etc., antes de empezar a revelarla. Cuando la causa es el revelador, la mancha es más oscura.

g) ENJUAGUE DEFICIENTE.- El enjuague debe ser en agua limpia y fresca, el tiempo de enjuague debe prolongarse por un tiempo suficiente para eliminar de la película todo residuo de fijador, normalmente debe ser de 30 min.

Un mal enjuague provoca la permanencia de residuos de fijador en la película, estos residuos, reaccionan con el medio ambiente provocando manchas amarillas que estropean la imagen radiográfica.

Por último la utilización de las pantallas de plomo o fluorescentes, también pueden inducir defectos en las placas radiográficas. A continuación, se indican los casos particulares para cada una de ellas.

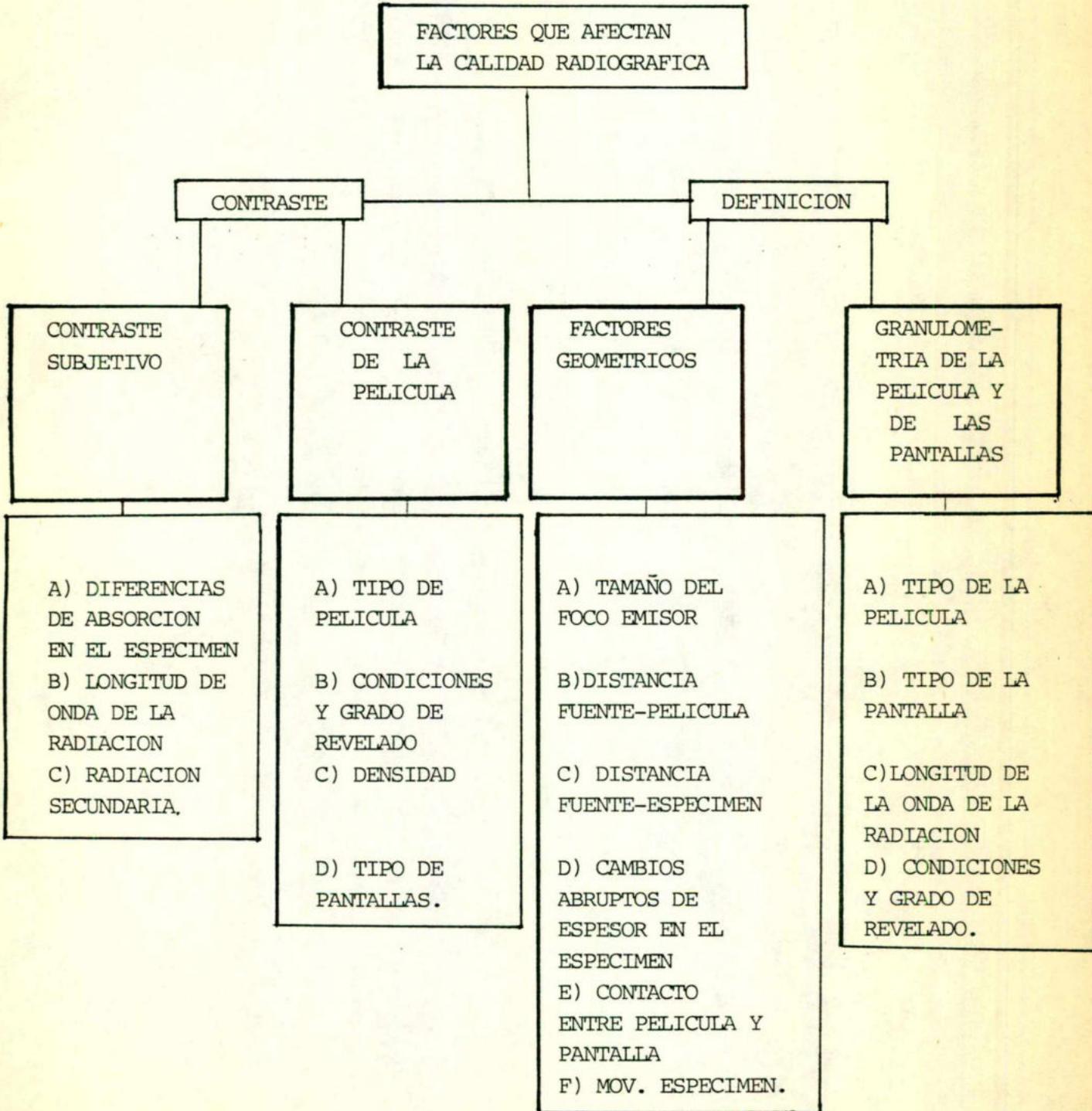
- Pantallas fluorescentes.- Cuando la pantalla se dobla, frecuentemente, se producen arrugas que estropean las propiedades del compuesto fluorescente, apareciendo dichas arrugas como líneas claras sobre la radiografía. Se deberá mantener la pantalla libre de polvo y de cualquier cuerpo extraño, ya que cualquier objeto ajeno aparecerá en la imagen radiográfica.

- Pantalla de plomo.- En forma similar a las pantallas fluorescentes, las arrugas o la presencia de objetos extraños, provocan la aparición de manchas oscuras en las radiografías. La razón es que en estos puntos se emite un mayor número de electrones y la película se expone en un mayor grado.

La tabla 4.6 resume los factores que afectan la calidad radiográfica.

TABLA 4.6
[9, 81]

FACTORES QUE AFECTAN LA CALIDAD RADIOGRAFICA



Para reducir al mínimo las radiaciones que absorbe un individuo durante el trabajo de inspección, debe recordar los términos ; tiempo, distancia, blindaje y lo que éstos representan.

Es bastante obvio que a menor tiempo empleado dentro de una área de radiación, menor será la cantidad de radiación absorbida. Además este es el medio más sencillo de evitar las radiaciones.

Consecuentemente el trabajo que se realice dentro del área de radiación, deberá estar bien planeado, de manera que las actividades que se efectúen requieran del menor tiempo posible. La persona que se adentre en esta área, debe tener siempre en mente cada una de las etapas de la operación que debe realizar.

Las actividades de preparación para la exposición (determinación de distancia fuente-película, colocación de accesorios, instalación de película, identificación del espécimen, etc.), deben desarrollarse antes de proceder a la toma, a fin de evitar en lo posible la exposición del individuo mismo.

Ocasionalmente, es conveniente efectuar un simulacro de exposición, en especial si el área de trabajo es reducida y no es factible alejarse o protegerse de la radiación inmediatamente. También es aconsejable realizar ensayos previos cuando se capacita personal nuevo para la inspección, ganando además eficiencia y ahorro en el tiempo.

En forma semejante, la distancia entre fuente y personal de inspección debe ser tal, que la dosis de radiación que éste reciba se encuentre por debajo de los límites permitidos. A mayor distancia menor será la radiación recibida.

Debe recordarse que la intensidad de radiación sigue la ley de los cuadros inversos, es decir, si la distancia aumenta una vez la intensidad disminuye al cuadrado.

El tercer camino a seguir para reducir la exposición a una radiación es el blindaje. Este es el medio por el cual las radiaciones son atenuadas o totalmente evitadas.

Los rayos Gamma y los rayos X, interactúan con la materia, de tal forma que chocan con los electrones de ésta, los cuales desarrollan los efectos compton y fotoeléctrico principalmente.

La probabilidad de que se realicen los choques, aumenta con el número de electrones disponibles en el material absorbente. Por tanto los mejores materiales para construir blindajes, son aquellos que se forman de átomos densos.

En los trabajos de inspección en campo, generalmente se cuenta con materiales de blindaje "naturales". En una planta química será posible resguardarse de la radiación, situándose detrás de una tubería de acero o de una pared de concreto, en tanto que al trabajar en la construcción de un puente, el cubrirse detrás de una vigueta, es lo más conveniente.

En la tabla 4.7., aparecen los espesores requeridos por tres materiales distintos para reducir a la mitad la intensidad de la radiación de las fuentes, Iridio 192 y Cobalto 60. Son de utilidad para determinar la efectividad de un blindaje determinado.

TABLA 4.7.

ESPEORES DE PARED REQUERIDOS PARA REDUCIR LA
INTENSIDAD DE LA RADIACION A LA MITAD

	BLINDAJE (PULG)		
	PLOMO	FIERRO	CONCRETO
IRIDIO 192	0.2	0.5	1.7
COBALTO 60	0.5	0.8	2.4

REQUERIMIENTO PARA OBTENER LICENCIAS RADIOGRAFICAS

1.- El solicitante, debe tener un programa adecuado de capacitación, incluyendo:

- a.- Capacitación inicial
- b.- Entrenamiento periódico
- c.- Capacitación durante el trabajo
- c.- Medios para determinar su calificación como radiólogo
- d.- Medios para determinar su calificación como asistente

2.- El solicitante debe tener por escrito los procedimientos de rutina y los de emergencia, para llevar acabo su trabajo.

3.- Se requiere que el centro de trabajo tenga inspección interna o un sistema de control para asegurar que cumple con los procedimientos y regulaciones.

4.- El solicitante debe contar con material suficiente para efectuar pruebas de fuga de material radiactivo.

REQUERIMIENTOS DE SEGURIDAD

1.- Los contenedores de fuentes radiactivas deberán contar con chapas para prevenir el uso por parte de personal no autorizado.

2.- Los accesorios de exposición y los contenedores deben encontrarse físicamente seguros para prevenir su desmontaje o su remoción, fuera de control.

3.- Los instrumentos de medición deben calibrarse cada tres meses de uso.

4.- Los contenedores de fuentes deben probarse contra fugas en intervalos que no excedan de seis meses; los reportes respectivos deben llenarse dentro de los siguientes cinco días a la fecha en que se efectuó la prueba.

5.- La persona o compañía con licencia para manejar las fuentes radiactivas debe efectuar inventarios trimestrales de las

fuentes bajo su posesión, haciendo reportes al respecto.

6.- Los radiólogos deben usar los instrumentos monitores durante su trabajo.

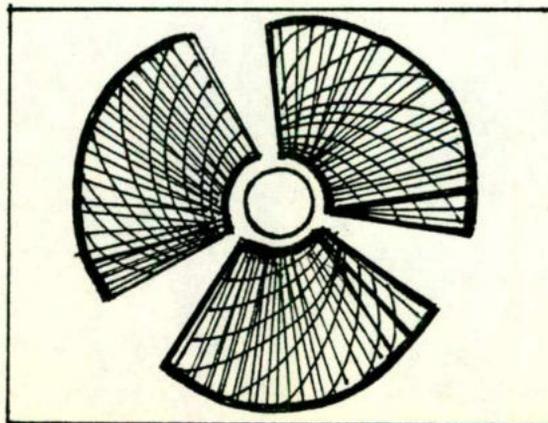
7.- Cada vez que se utilice una fuente radiactiva y cada vez que se almacene después de emplearse, debe usarse el equipo detector de radiaciones para asegurar un almacenamiento adecuado.

8.- Los accesorios, contenedores y equipo de manipulación y transporte de materiales radiactivos, deberán identificarse con el logo de radiaciones, Figura 4.10

9.- Durante el trabajo radiográfico de exposición deberán colocarse avisos alrededor del área de alta radiación, que prevenga al personal circundante de exposiciones innecesarias.

FIGURA 4.10.

SIMBOLO UNIVERSAL DE MATERIALES RADIOACTIVOS



5. INTERPRETACION DE LA INSPECCION RADIOGRAFICA

5.1. LOS DEFECTOS Y SU INSPECCION

Debemos partir de la base de que no existen materiales perfectos para la fabricación de tubería o procedimientos inequívocos para su soldadura en campo.

Bajo esta consideración primaria, se define al defecto normalmente, como la falta o ausencia de algo esencial para la integridad o perfección. Los defectos pueden variar en los metales, desde dislocaciones a nivel de microscopía electrónica no observables, incluso con cierto tipo de potentes microscopios, hasta discontinuidades apreciables a simple vista.

Muchos defectos aparentes, que son claramente visibles, pueden no afectar la vida de la tubería. Por otro lado, muchos otros pueden ser peligrosos o dar lugar a roturas o fallas en el servicio.

El objeto de la inspección radiográfica de la soldadura, es el detectar todos los defectos que pudieran propiciar la rotura de la soldadura como consecuencia de las presiones a las cuales es sometida en el servicio.

Bajo ciertas condiciones de trabajo y utilización, un defecto determinado puede ser poco probable que cause o contribuya a una

rotura o falla en el servicio. Sin embargo, bajo las condiciones en que se trabajan las líneas en tubería de conducción, alta presión, el mismo defecto puede ser extremadamente peligroso, causando una falla en el material, lo que puede dar lugar a explosiones que ponen en peligro la vida de la población o bien contaminando el medio ambiente.

Los defectos se consideran generalmente como una separación dentro de la estructura normal del metal. Son utilizados otros términos para describir las condiciones defectuosas, tales como inclusiones, porosidad, falta de homogeneidad, discontinuidades estructurales, etc., sin embargo, en un sentido más amplio, la palabra defecto, puede describir también las irregularidades en la estructura metalúrgica del material o las deficiencias del proyecto.

Retomando el concepto de que no existen materiales perfectos, las normas y códigos de construcción más relevantes, como son; API, ASTM, DIN, o ANSI, permiten la presencia de algunos defectos estableciendo ciertas limitaciones sobre el tipo, tamaño, localización, y distribución de los mismos.

Desafortunadamente, los efectos producidos por muchos defectos, durante el servicio, son en gran parte mal interpretados por los técnicos. A algunos defectos se les da gran importancia, estableciendo para ellos limitaciones muy estrictas, mientras que otros son pasados por alto aunque puedan representar un

serio riesgo durante la operación del material.

En la actualidad, en sinnúmero de pruebas que existen con el fin de evaluar la perfección del material, han contribuído de una manera eficaz, a la utilización con resultados satisfactorios de un buen número de materiales bajo condiciones de servicio muy severas.

Sin embargo, estas pruebas pueden dar lugar a un falso sentido de la seguridad cuando se inspeccionan minuciosamente líneas de conducción, recipientes o depósitos, en los cuales no se detectan defectos.

No se está exento a que debido, a las condiciones de servicio, se puedan desafiar y rebasar los sistemas de inspección y comprobación existentes. Y es así que muchos defectos se detectan hasta el momento en que se produce una rotura o falla del material o de la soldadura aplicada para unirlo.

5.2. DEFECTOS DE LA SOLDADURA

Hemos llegado al punto en el que, después de haber expuesto, cómo se produce la soldadura en campo y cómo se procede a la toma de las radiografías de dichas juntas de soldadura, tenemos ante nosotros la placa radiográfica que nos está mostrando las condiciones generales de dichas juntas. Independientemente del reporte de inspección entregado por el técnico radiólogo, la

supervisión debe efectuar una revisión de dichos resultados comparándolos con las radiografías.

Para este objetivo, se debe exigir al técnico, que la radiografía cubra los requisitos indicados en la sección 5 del capítulo 4 denominado "Aceptación de las radiografías".

Las radiografías aceptadas, son revisadas en ciertas condiciones de iluminación, estas condiciones implican que la radiografía se coloque entre el observador y una fuente luminosa, haciendo transparente las zonas que tengan baja densidad. La fuente luminosa es un aparato que se denomina Negatoscopio, el cual es una lámpara de luz blanca colocada dentro de una caja de madera o metálica y haciendo las veces de tapa o pantalla, una mica de acrílico blanco donde se colocan las radiografías.

Al momento de estar observando una radiografía, se debe imaginar que se esta viendo una junta de soldadura "Transparente" visualizando el interior y el exterior de la soldadura, más que la simple observación de una radiografía en dos dimensiones. Lógicamente esta visualización requiere de: un conocimiento suficiente del proceso empleado en la junta, características de la ranura utilizada, número de cordones aplicados, secuencia, procedimiento de limpieza entre cordones, etc.

Los defectos de la soldadura, pueden clasificarse de acuerdo a su carácter de visible o de no visible a simple vista, es decir si la discontinuidad puesta de manifiesto por la radiografía es

visible sobre la soldadura inspeccionada, es denominado defecto dimensional. Si se escapa al ojo humano por encontrarse en el interior del mismo material, se denomina defecto estructural.

Existen también los defectos en las propiedades mecánicas o químicas inherentes al metal base o de aporte, mismos que no son apreciables en la inspección radiográfica aunque deben examinarse por otros medios para asegurar la calidad de la junta.

5.2.1. DEFECTOS DIMENSIONALES

a.- Deformación por contracción térmica.- Debido a que el proceso de soldadura implica la aplicación de calor en una zona determinada, el metal tiende a dilatarse en esa zona. Si no se tiene la precaución de depositar la soldadura en forma uniforme y constante o con la aplicación de la misma, utilizando dos soldadores en lados diametralmente opuestos, se corre el peligro de deformar la boca del tubo, causa directa de defectos estructurales como la falta de penetración, o de fusión, debido a la irregularidad de los planos del metal base que se van a soldar.

b.- Preparación Incorrecta de la unión.- Los defectos dimensionales provocados por estas causas, son debido a que en el bisel de un mismo tubo, se tengan ángulos diferentes. En la

soldadura de la línea regular es poco común el que se presenten defectos de este tipo ya que los biseles de la tubería se producen con maquinaria especial en la planta de fabricación. Este tipo de defectos son comunes en los empates de las obras especiales con la línea regular; en donde se tiene por un lado, un tubo con bisel de fábrica, línea regular, y por el otro un tubo que ha sido cortado y biselado manualmente. Este defecto se evita utilizando en estos casos una máquina biseladora automática, la cual ejecuta en campo un bisel con el ángulo constante en todo el perímetro del tubo.

c.- Perfil incorrecto de la soldadura.- Un defecto muy común y que se observa a primera vista, es el que el soldador aplique un cordón de soldadura en forma irregular con crestas, valles o los famosos "cacahuates" los que hablan muy mal, de la calidad del trabajo, así como de la capacidad del soldador para ejecutar juntas de este tipo.

Normalmente y debido a la calificación previa de los soldadores, no se presentan estos defectos provocados principalmente por una mala oscilación del electrodo, el uso de corriente inadecuada o por una velocidad de aplicación irregular; ajustando estos factores, se pueden obtener soldaduras aceptables.

5.2.2. DEFECTOS ESTRUCTURALES

Como su nombre lo indica, esta clase de defectos se constituyen como interrupciones en la estructura normal del material. Al hablar de estructura, se refiere a la interrupción física en la sanidad del metal, más que de un cambio o defecto en la estructura metalográfica o química del metal de la soldadura.

La existencia de estos defectos, observables mediante el uso de la inspección radiográfica, es algo que siempre puede ocurrir y su simple existencia no es razón suficiente para el rechazo.

El rechazo se establece sólo en los casos en que la magnitud de los defectos exceda los valores establecidos por la norma aplicable para el proceso de soldadura. Como ya se mencionó en el caso que nos ocupa, la norma aplicable es la API-1104, ver sección 3 de este capítulo, donde se indican los límites permisibles para los defectos estructurales mostrados a continuación. [11]

Con el objeto de ser lo más específico en la descripción de cada defecto, se seguirá la secuencia indicada a continuación para cada uno de ellos:

- Tipo de Defecto
- Registro Radiográfico
- Causa
- Remedio
- Ilustración del defecto

A) POROSIDAD

DESCRIPCION.- Hueco o bolsa de gas atrapado en el metal de la soldadura ya solidificada. Existen tres tipos de poros, esférico, cilíndrico y tubular o túnel. Se clasifican por la forma que toma el poro al solidificarse la soldadura.

REGISTRO RADIOGRAFICO.- Poros esféricos; Se presentan en forma casi esférica, pudiéndose encontrar aislados, agrupados, alineados o dispersos. Varía su densidad en la radiografía dependiendo directamente de su diámetro.

Poro cilíndrico; Registro en forma tubular alargado con densidad variable, debido a que se desplaza el gas entre los cordones de soldadura en una forma ascendente.

Poro túnel; Registro de alta densidad en forma tubular localizada en el centro del cordón de fondeo o paralelo a él.

CAUSA.- La principal fuente de porosidad es el hidrógeno que se ha aportado al proceso debido a: mala protección del arco, el cual atrapa gases de la atmósfera que se integran al metal incandescente; humedad en la atmósfera ; el metal base, el electrodo etc. La humedad presente debido al alto calor del proceso, desprende hidrógeno en forma de gas. Este se difunde fácilmente en el metal fundido ya que a menor temperatura la solubilidad del hidrógeno disminuye, el metal queda sobresaturado de hidrógeno, mismo que se une para formar los poros. Ver figs. 5.1., 5.2. y 5.3.

FIGURA 5.1.

POROS ESFERICOS

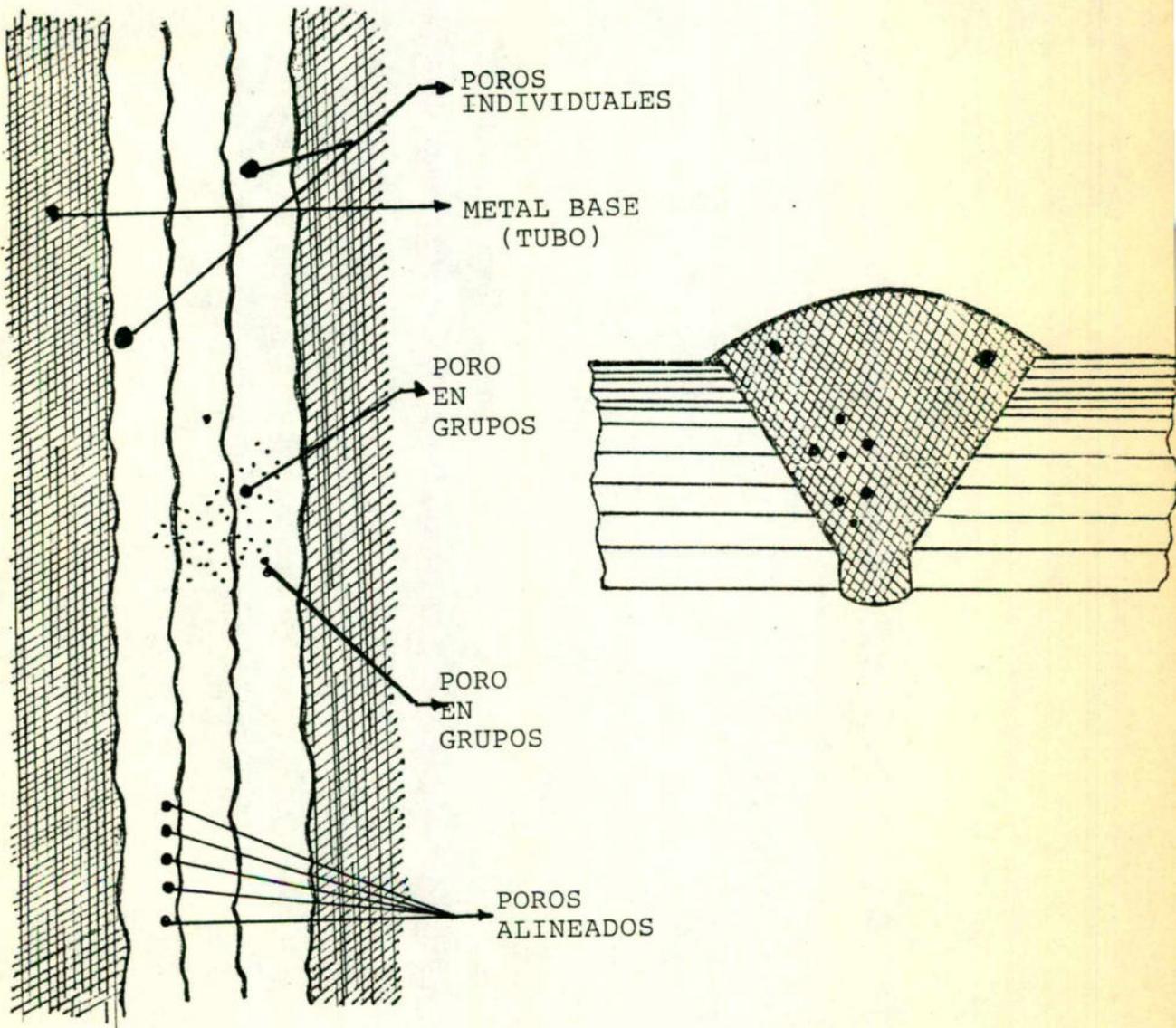


FIGURA 5.2.

PORO CILINDRICO

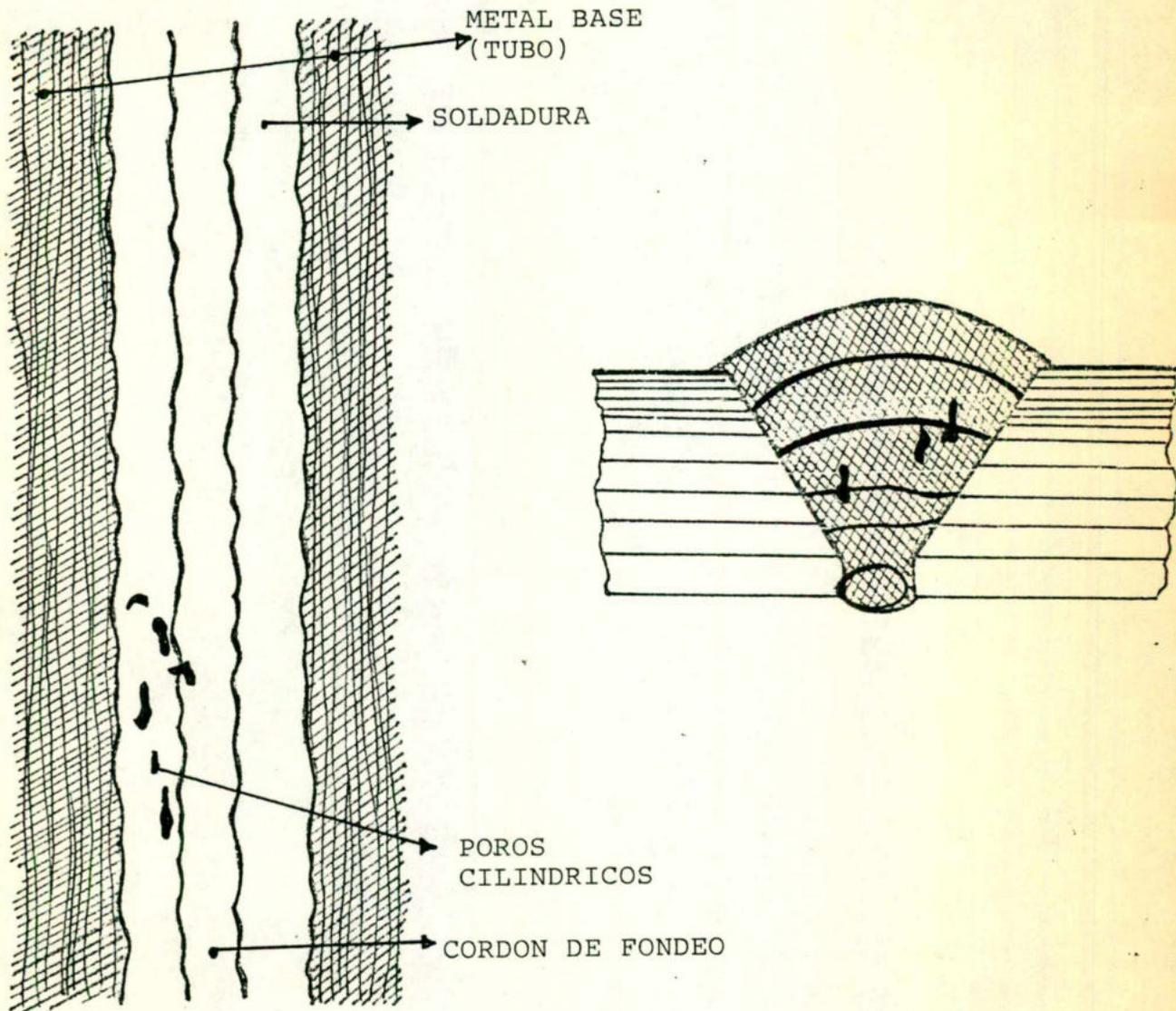
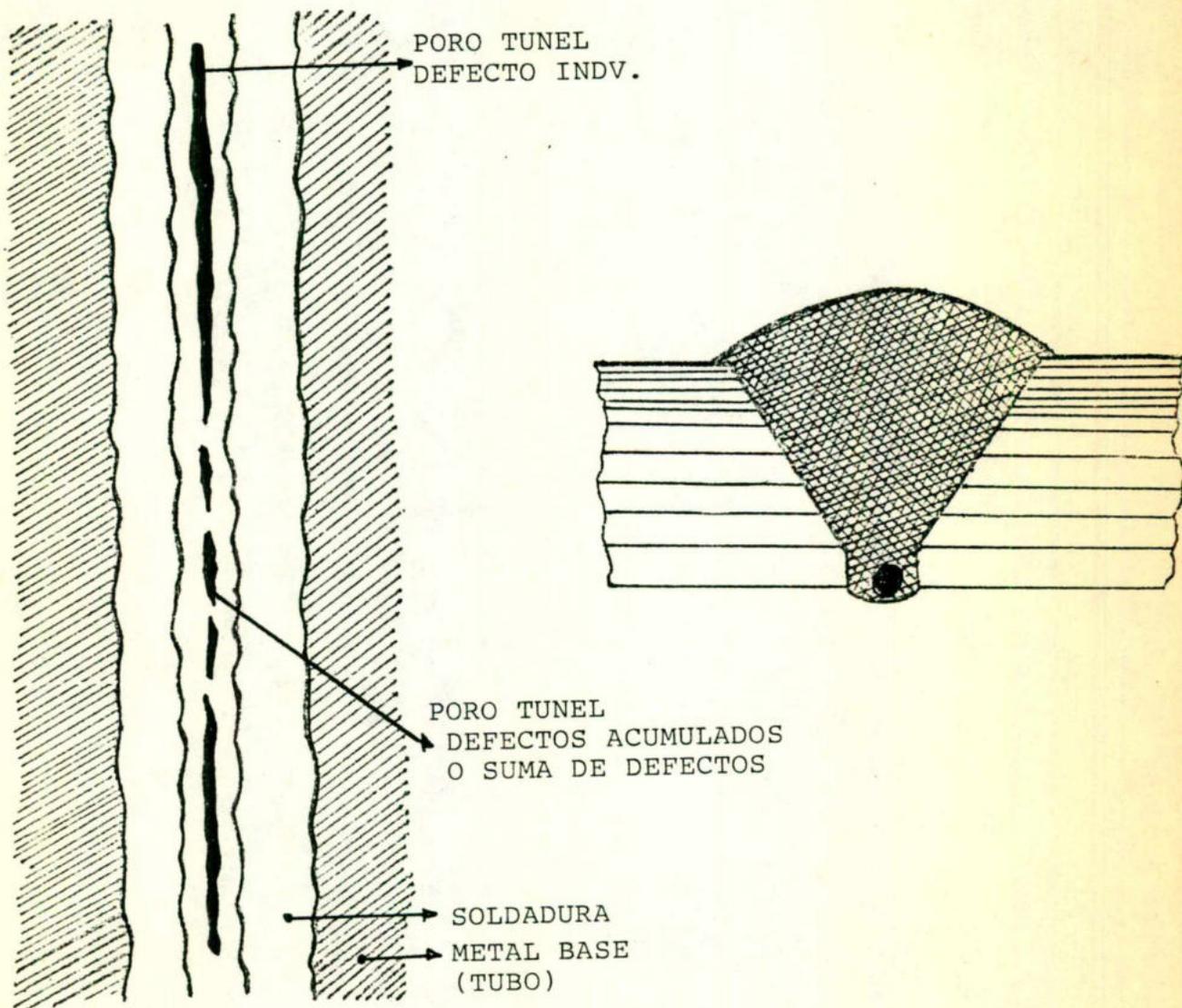


FIGURA 5.3.

PORO TUNEL



REMEDIO.- La porosidad se evita permitiendo que la soldadura se mantenga en estado líquido o incandescente el mayor tiempo posible. De esta forma se permite que el gas alcance la superficie del metal de la soldadura desprendiéndose hacia la atmósfera.

Evitar interrumpir la aplicación del cordón de soldadura, ya que en ese momento queda expuesta la junta al medio ambiente o a enfriamientos rápidos.

Se debe mantener la soldadura en los hornos especiales o en sus recipientes a prueba de agua, para evitar su contaminación con humedad.

Evitar el aplicar la soldadura cuando está lloviendo o el tubo este mojado.

B) INCLUSIONES DE ESCORIA

DESCRIPCION.- Existencia de óxidos y sólidos no metálicos atrapados en el metal de la soldadura o entre éste y el metal base. Generalmente, son residuos del recubrimiento del electrodo de soldadura, se presentan como partículas individuales y en líneas sencillas o dobles.

REGISTRO RADIOGRAFICO.- Inclusión de escoria. Manchas oscuras que pueden localizarse en cualquier zona de la soldadura, principalmente entre los cordones o entre los cordones y el metal base.

Líneas de escoria.- Líneas oscuras al lado del cordón bien definidas y en una forma muy recta.

Doble líneas de escoria.- Líneas dobles entre los cordones en forma recta y bien definida. Ver Figs. 5.4 y 5.5.

CAUSA.- Las fuentes más comunes de la escoria son: el recubrimiento del electrodo que al fundirse produce óxidos no metálicos, óxidos y pintura localizados en el bisel o sobre la tubería.

La escoria no se disuelve en el metal fundido y siendo de menor densidad que éste, tiende a subir a la superficie si el tiempo de solidificación de la soldadura se lo permite.

Es muy común que la escoria quede atrapada en la zona de fusión en los primeros cordones, especialmente si la superficie del cordón queda en forma convexa.

La escoria queda atrapada en la soldadura si, entre cada cordón de la misma no se efectúa una limpieza cuidadosa de la escoria que quedó sobre el cordón aplicado.

REMEDIÓ.- Las inclusiones de escoria pueden llevarse a un mínimo, ejecutándose una limpieza a fondo de la escoria entre cordones, subiendo la corriente aplicada de tal manera que el metal de la soldadura no quede muy viscoso e impida la salida de la escoria y por último corregir la técnica de aplicación de la soldadura para propiciar la salida de la escoria.

FIGURA 5.4

INCLUSION DE ESCORIA

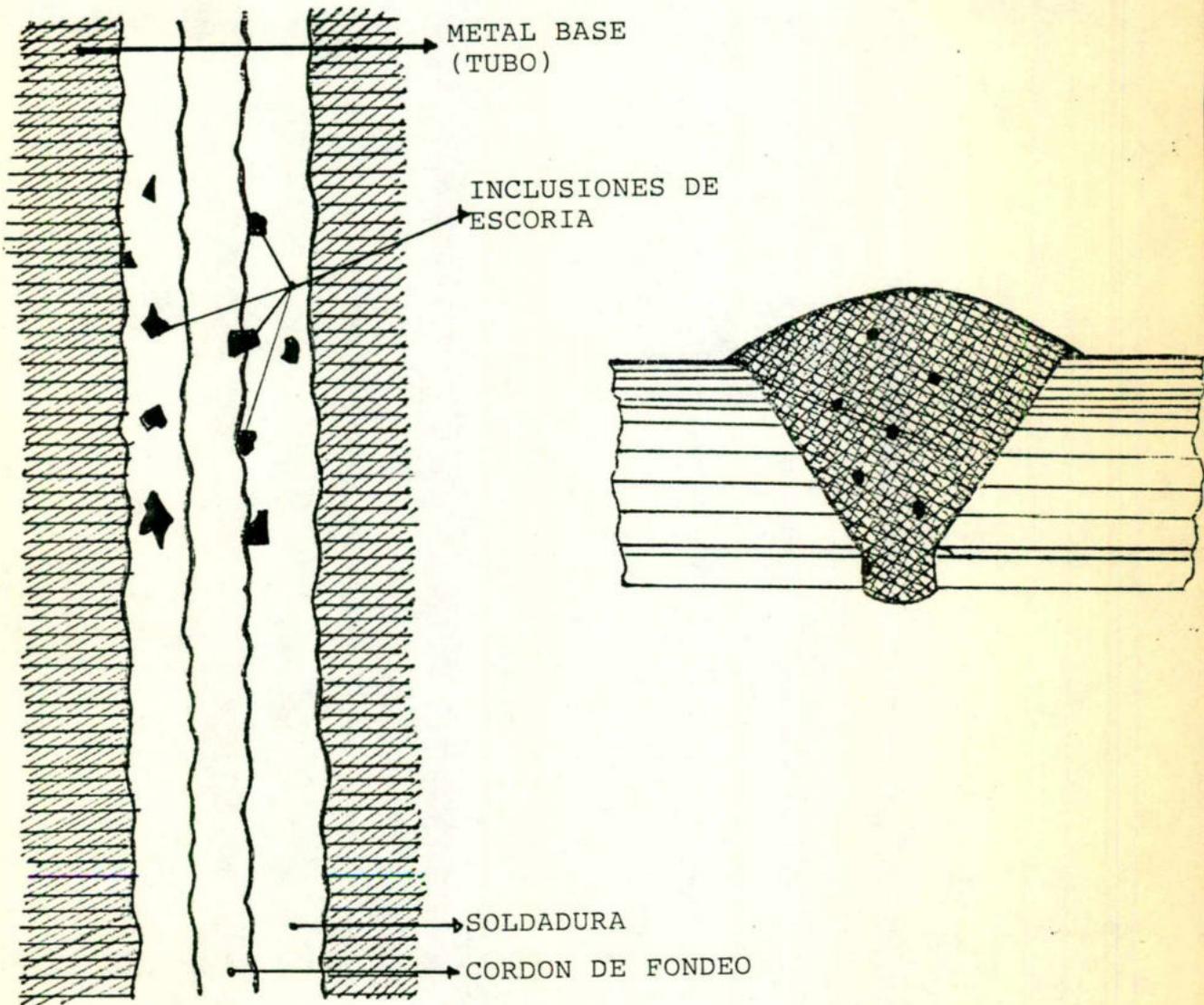
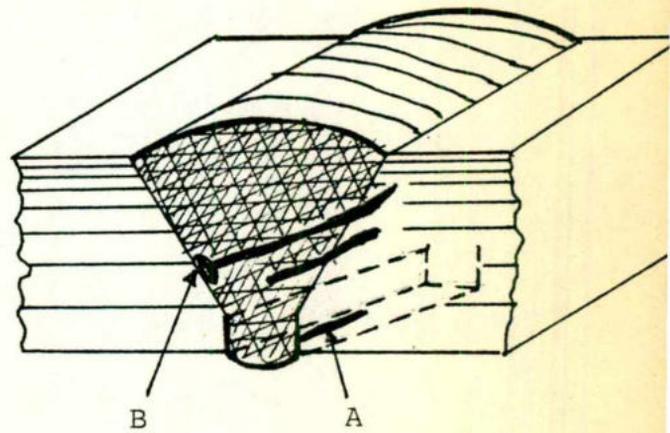
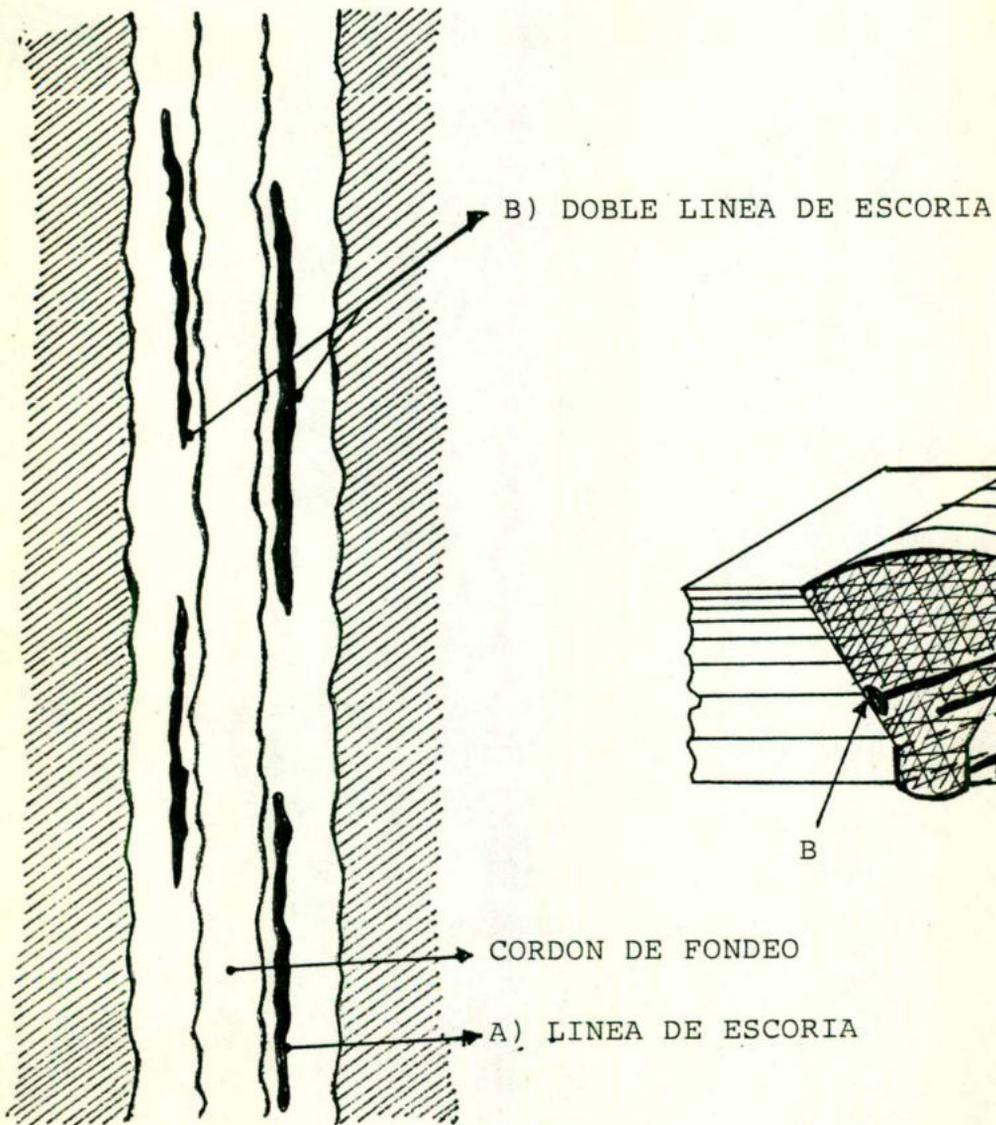


TABLA 5.5

LINEA Y DOBLE LINEA DE ESCORIA



C) FALTA DE FUSION

DESCRIPCION.- Ausencia de liga o unión entre el metal de la soldadura y el metal base o bien, entre dos cordones adyacentes. La falta de fusión implica la existencia de dos zonas del metal que están "pegadas" o sobrepuestas, sin que exista entre ellas una unión íntima.

REGISTRO RADIOGRAFICO.- Sombra en forma de línea, muy débil localizada en la zona de fusión entre el metal de la soldadura y el metal base. La sombra que presenta es muy tenue. Es muy difícil de apreciarse con la inspección de rayos Gamma.

Ver Fig. 5.6.

CAUSAS.- La principal causa es el calor insuficiente al aplicar el cordón de soldadura, lo cual no fusiona el metal adyacente, quedando en esta zona una capa muy fina de óxido. Una combinación de; corriente demasiado baja, precalentamiento insuficiente y la falta de limpieza del metal base o del cordón depositado, tienden a causar la falta de fusión.

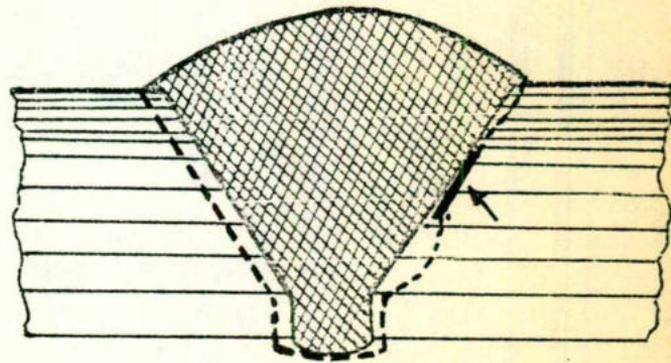
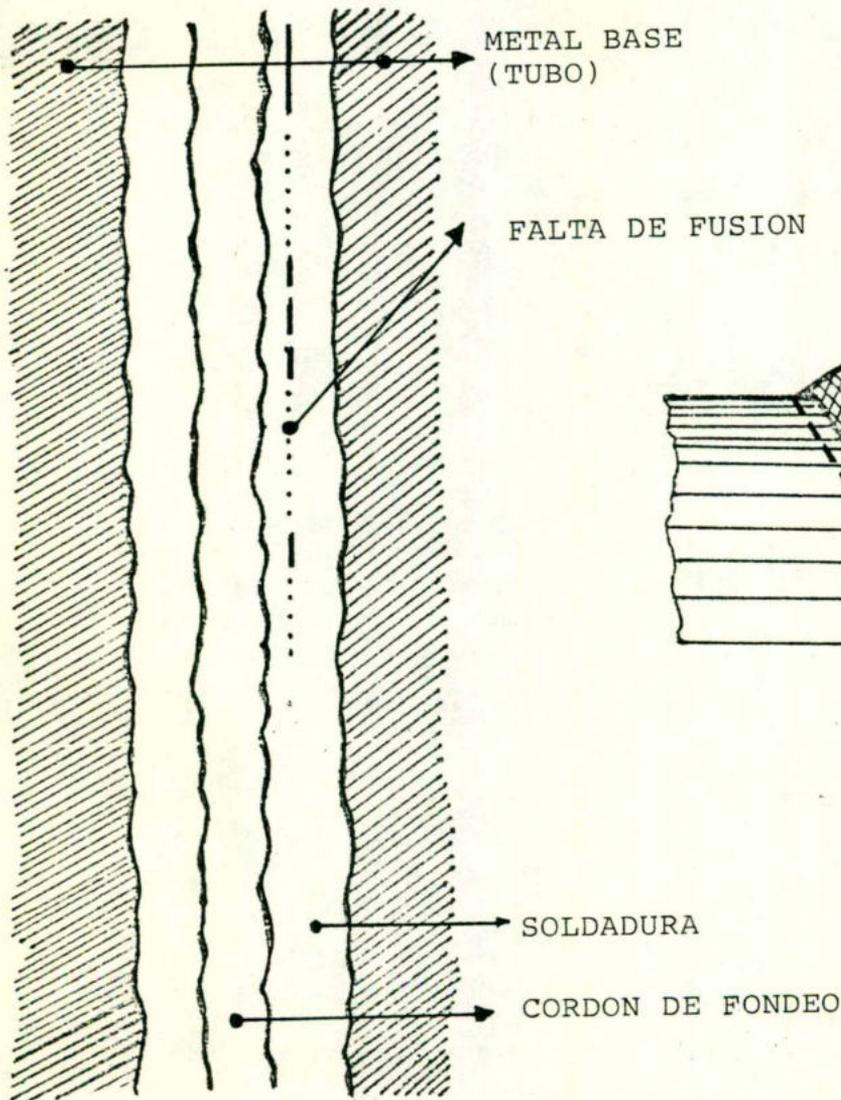
REMEDIO.- Trabajar y limpiar adecuadamente el metal base antes de aplicar la soldadura y aumentar el amperaje aplicado.

D) FALTA DE PENETRACION

DESCRIPCION.- Es el llenado incompleto de la raíz de una unión. Se refiere en general a una penetración insuficiente,

FIGURA 5.6.

FALTA DE FUSION



que no alcanzó a cubrir todo el espesor de la junta.

REGISTRO RADIOGRAFICO.- Zona oscura, recta y bien definida que puede variar de ancho según el espacio entre los topes de los biseles. Siempre se localiza en el centro del cordón.

Ver fig. 5.7.

CAUSAS.- Sus causas pueden ser, diseño inadecuado de la ranura, abertura de raíz muy reducida, utilización de un electrodo de diámetro muy grande, una alta velocidad de aplicación de la soldadura o un amperaje insuficiente.

Este defecto es propiciado por el hecho de que para soldar la tubería, se debe hacer solamente por su lado exterior, utilizando una ranura en forma de "V". Si la parte del metal base más cercana al electrodo está a una distancia considerable de la raíz, la conducción del calor puede ser insuficiente para alcanzar la temperatura de fusión de la raíz, originándose la penetración incompleta.

REMEDIO.- Modificar diseño de ranura, utilizar un electrodo adecuado, incrementar el amperaje y reducir la velocidad de aplicación de la soldadura.

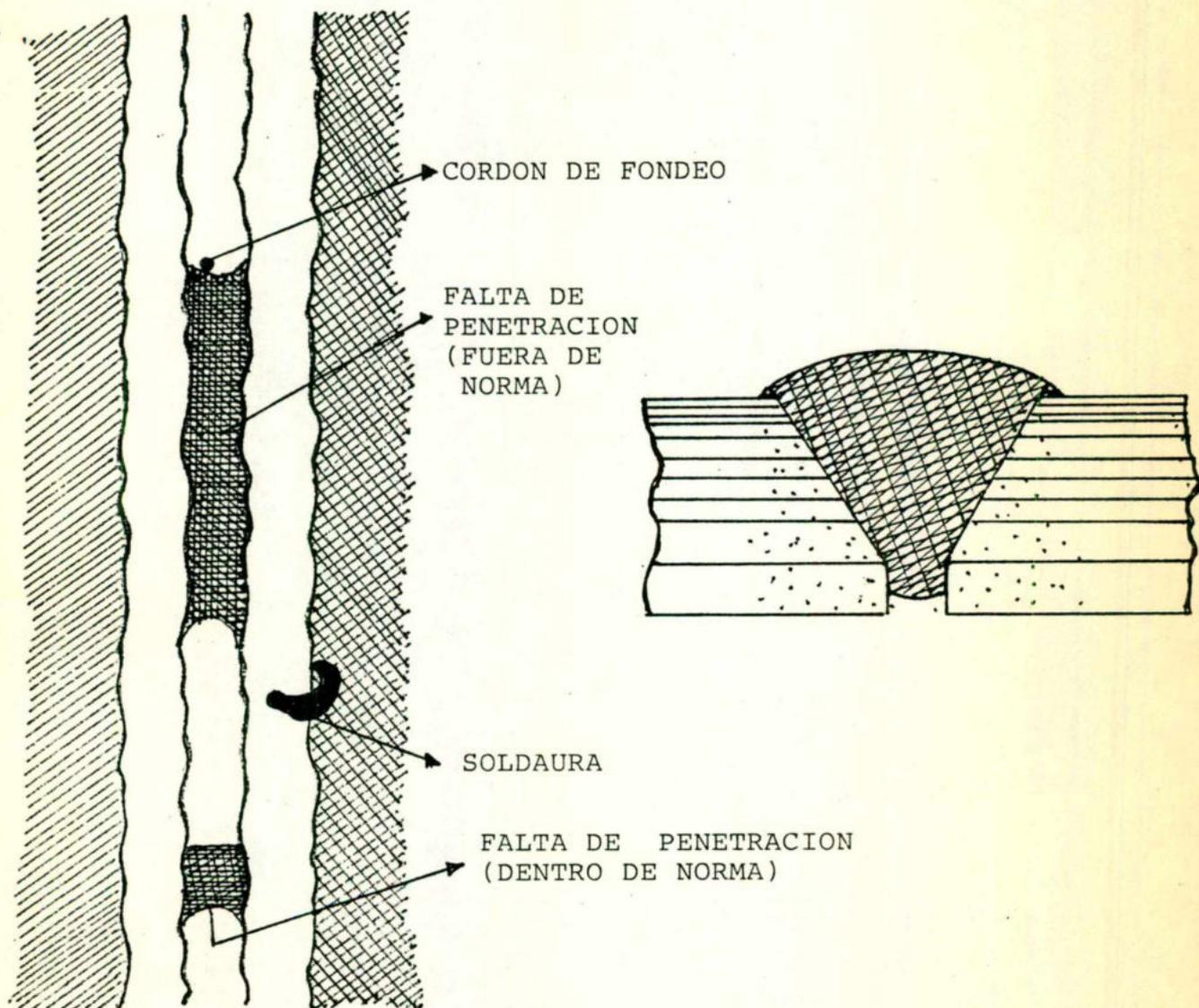
E) FALTA DE PENETRACION POR DESALINEAMIENTO DE TUBERIA (HI-LOW)

DESCRIPCION.- Llenado incompleto de la raíz de una unión.

REGISTRO RADIOGRAFICO.- Igual a falta de penetración, con la

FIGURA 5.7.

FALTA DE PENETRACION



diferencia que la zona con defecto muestra una densidad variable, esto es, en algunas partes es más oscura y en otras mas clara. Ver Fig. 5.8.

CAUSA.- Ejecutar la soldadura entre dos tubos que no están perfectamente alineados o que alguna zona del bisel ha sufrido un golpe, lo que provoca que no se tengan los perfiles del bisel en la forma más conveniente para la aplicación de la soldadura.

REMEDIOS.- Utilizar siempre el alineador interior para presentar debidamente los dos tubos que se van a soldar. Revisar los biseles de la tubería para detectar todos los que están golpeados y enderezar con un martillo o marro los que sean poco severos o efectuar el corte de los que sean muy pronunciados.

F) ROTURAS

DESCRIPCION.- Fractura en el cordón de soldadura debido a la generación de esfuerzos localizados, que en un punto determinado exceden la resistencia del metal de la soldadura.

REGISTRO RADIOGRAFICO.- Las roturas aparecen como líneas oscuras o tenues en forma continua o interrumpida. Difícilmente se presenta como una línea estrecha y casi siempre se localizan con un cierto espesor, debido a la inclinación que tienen con respecto a la radiación incidente.

Ver Fig. 5.9.

FIGURA 5.8.

FALTA DE PENETRACION
DESALINEAMIENTO DE TUBERIA
(HI-LOW)

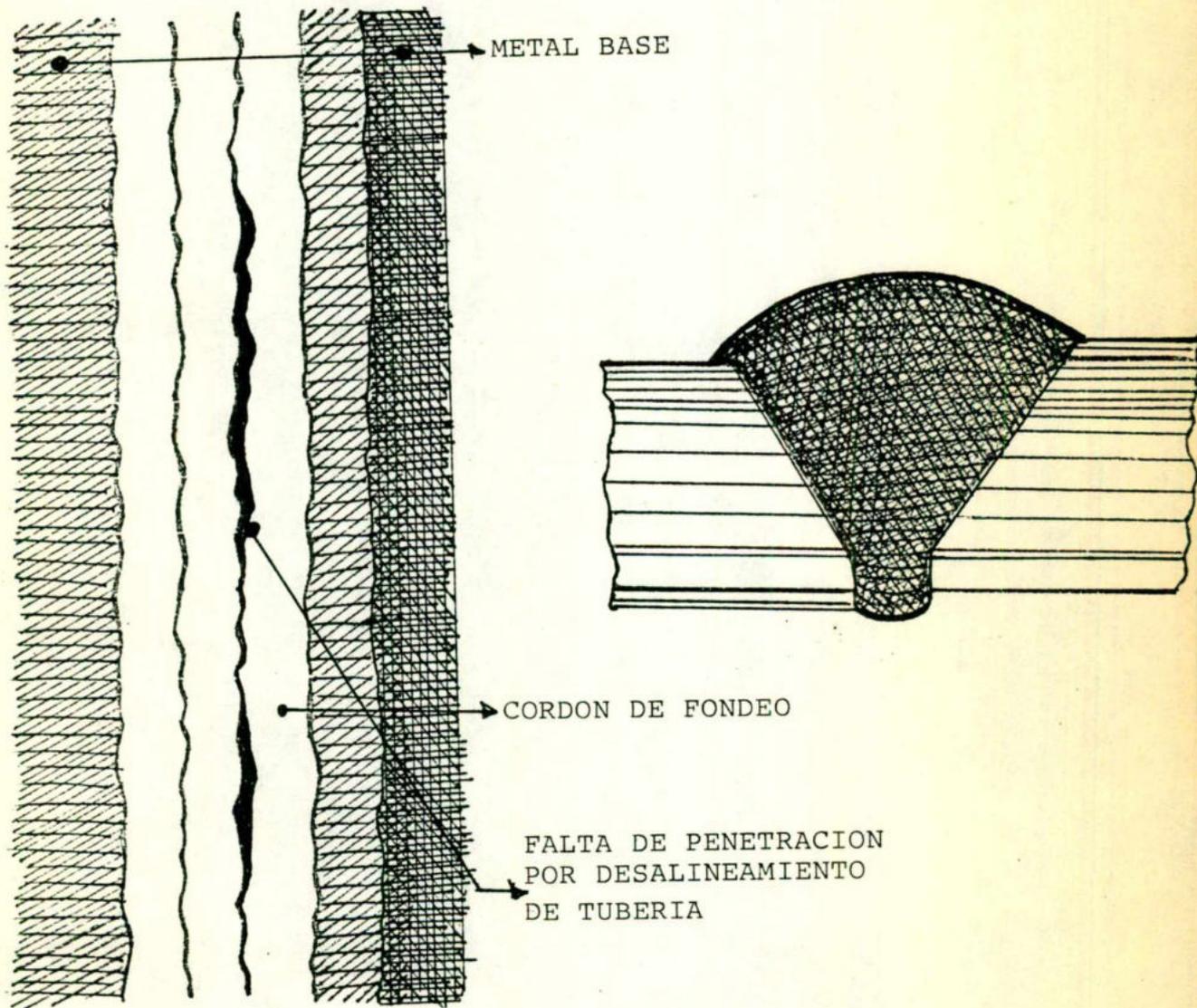
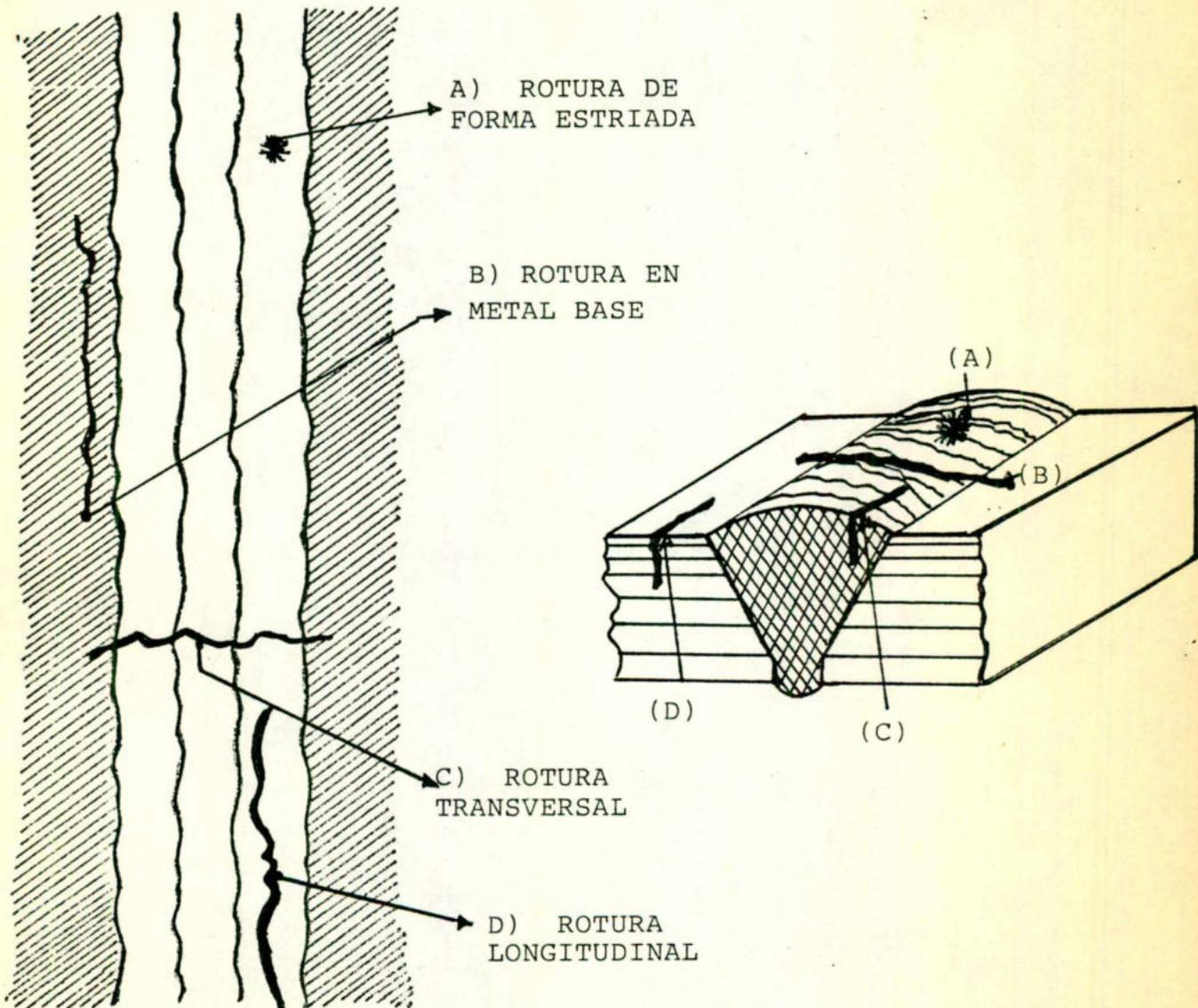


FIGURA 5.9.

ROTURAS



CAUSAS.- Desde el punto de vista metalúrgico existen dos tipos de roturas; Roturas en caliente y Roturas en frío.

Las roturas en caliente, ocurren a la temperatura en que casi todo el metal de la soldadura ha pasado del estado líquido al sólido, en los límites de grano, formando así una especie de película. A medida que el metal de la soldadura se enfría, se producen esfuerzos de contracción que el metal no puede soportar debido a la película del compuesto de bajo punto de fusión dando como resultado, una rotura o separación a lo largo de los límites de grano. El principal causante de este defecto, es el azufre que se presenta en forma de sulfuro de fierro.[9, 103]

Las roturas en frío, ocurren a temperaturas cercanos a la ambiente y ocurren generalmente en forma transgranular. Su causa es que el metal de la soldaduras no tiene la resistencia suficiente para soportar los esfuerzos de contracción térmica o externos que se pueden aplicar accidentalmente.

Otro tipo de rotura, en frío, puede ocurrir en el metal base, dentro de la zona afectada por el calor, debido a que éste se encuentra sobresaturado de hidrógeno. La presencia del hidrógeno, fomenta la aparición de una estructura martensítica que al momento de enfriarse dicha estructura del metal base, sobreviene la rotura. [9, 103]

REMEDIOS.- Las medidas más eficaces para reducir la aparición de roturas, son las siguientes; evitar la manipulación de los

tubos antes de terminar la soldadura, no fijar en forma rígida las partes a soldar para permitir la libre contracción o dilatación del metal, efectuar un precalentamiento y postcalentamiento cuando el tipo de material y la temperatura ambiente, así lo requieran. [11, 6]

g) SOCAVADO

DESCRIPCION.- Ranura o canal continuo o intermitente fusionado a la orilla de la soldadura en el metal base y que ha quedado sin rellenar con el metal de soldadura. El socavado, se considera como una discontinuidad externa que reduce el espesor de la tubería, disminuyendo su resistencia.

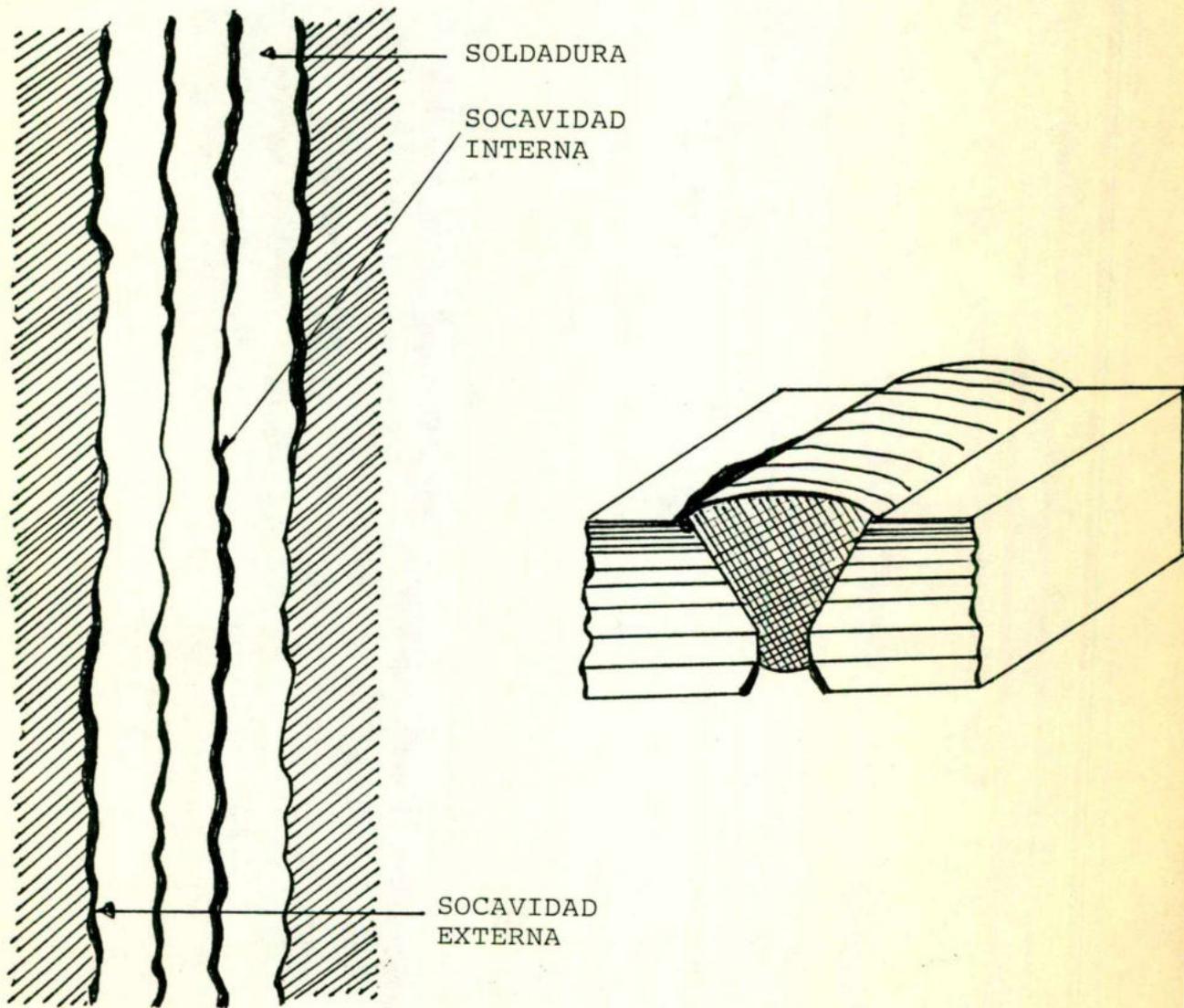
REGISTRO RADIOGRAFICO .- Líneas oscuras de longitud, densidad y espesor variable, en la orilla de la soldadura y junto al metal base. Ante este tipo de registro, es aconsejable buscar una línea muy fina a lo largo de la discontinuidad, ya que puede tratarse de una rotura en la zona de fusión del metal base. Como se muestra en la figura 5.10.

CAUSA.- Su causa se relaciona directamente con la técnica empleada por el soldador y no por la calidad del material o el equipo de soldadura, el socavado tiende a formarse debido a la aplicación de una corriente muy elevada, una gran longitud de arco, y una velocidad de aplicación de soldadura muy lenta. [9,107]

REMEDIO.- Aplicar la soldadura más rápido, procurar no

FIGURA 5.10

SOCAVADOS



arrastra demasiado material líquido, utilizar el amperaje adecuado y emplear un electrodo de menor tamaño.

H) CONCAVIDAD EN LA RAIZ

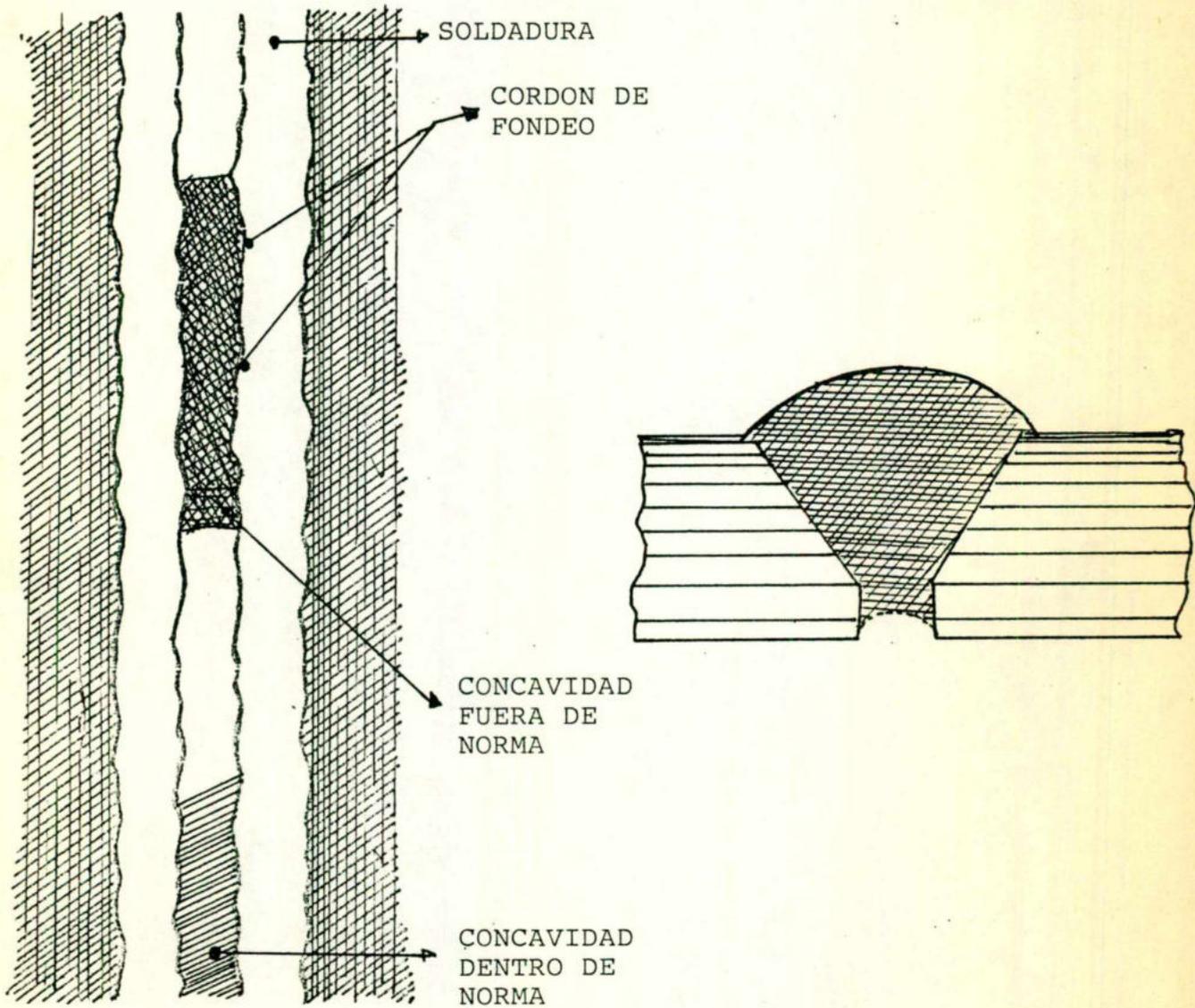
DESCRIPCION.- Defecto que se presenta cuando el metal de soldadura depositado ha penetrado y fusionado suficientemente todo el espesor de la tubería y durante la contracción por el enfriamiento se provoca una concavidad en el fondo de la soldadura.

REGISTRO RADIOGRAFICO.- Se observa como una franja oscura en el centro de la soldadura, pero sin que muestre una definición precisa en los lados. Esta imprecisión se relaciona directamente con la forma cóncava que tiene la soldadura en el cordón de fondeo. Este defecto, se puede confundir con la falta de penetración, con la diferencia que ésta deja los bordes de la raíz sin fusionar, mientras que la concavidad los fusiona completamente. Ver fig. 5.11

CAUSAS.- Estas causas ocurren comúnmente cuando se aplica la soldadura en la parte inferior del tubo, es decir, en posición sobre la cabeza. En esta situación, la gravedad y la tensión superficial provocan que el metal de soldadura forme una superficie cóncava en la parte interior del tubo, raíz de la soldadura. La concavidad en la raíz en ocasiones se puede

FIGURA 5.11

CONCAVIDAD EN LA RAIZ



extender en longitudes considerables.

REMEDIOS.- Evitar enfriamientos rápidos de la soldadura manteniendo bajo, el amperaje aplicado.

I) QUEMADA

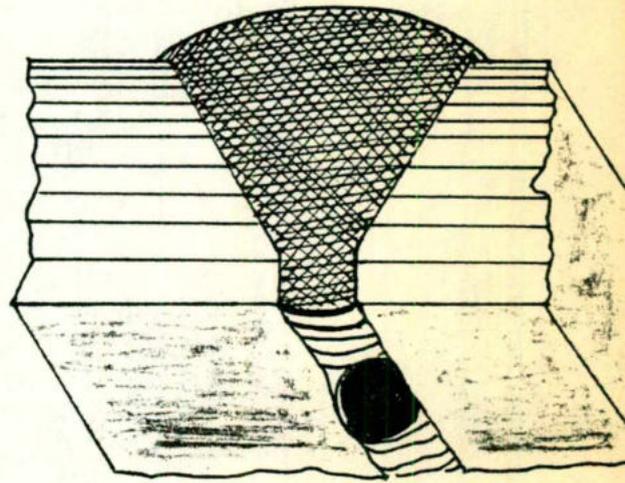
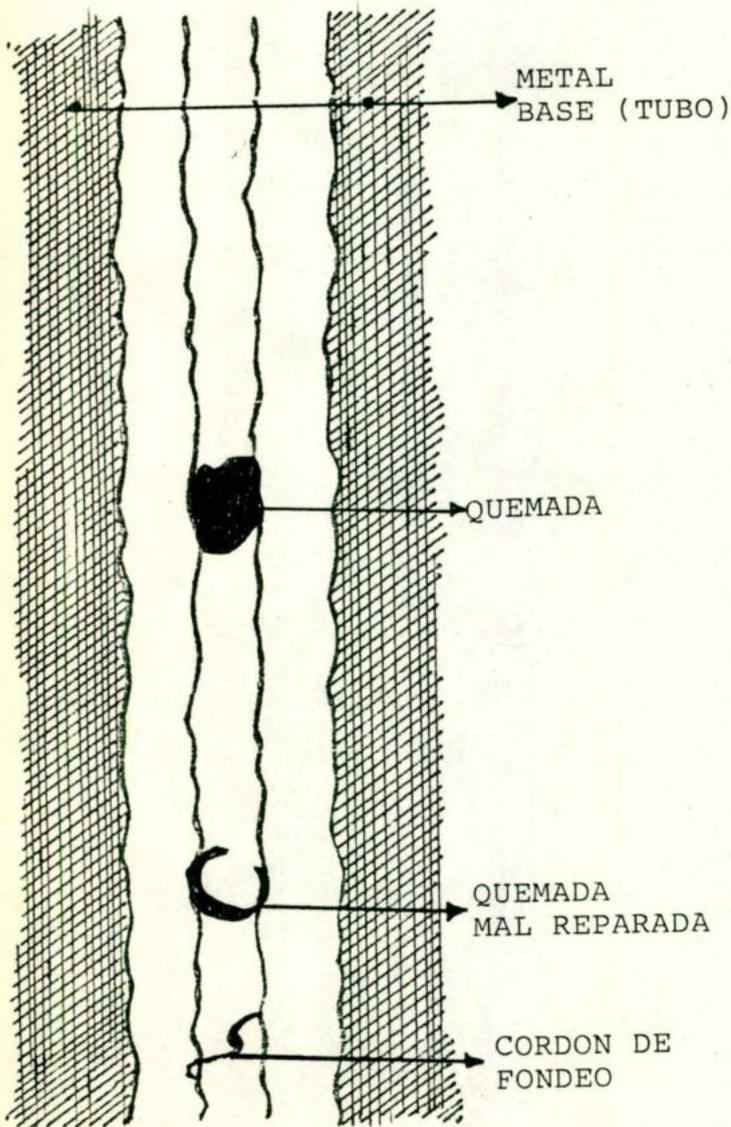
DESCRIPCION.- Discontinuidad externa provocada por una zona del primer cordón de soldadura, donde se presenta una penetración excesiva que causó que el metal incandescente cayera al interior del tubo.

REGISTRO RADIOGRAFICO.- Mancha oscura redonda ondulada que se desvanece en las orillas y algunas veces es más clara en el centro. Siempre se localiza en el centro de la quemada, pequeñas roturas longitudinales, transversales o de estrella. Ver figura 5.12.

CAUSA.- La quemada se presenta cuando el calor excesivo ha hecho que una porción de la soldadura "gotee" dejando una especie de cráter en forma circular u ovalada en el primer cordón de soldadura. Un amperaje muy alto y una manipulación inadecuada del electrodo, causan el efecto arriba mencionado. Se debe tener cuidado en no confundir la quemada con una concavidad en la raíz. La quemada es el cráter dejado al desprenderse una gota de metal líquido y es producida por el calor excesivo al detener el arco en un punto determinado. La

FIGURA 5.12

QUEMADA



concauidad en la raíz, es cuando el perfil del fondo de la soldadura queda abajo del metal base, debido a la contracción del metal, extendiéndose en una longitud considerable.

REMEDI0.- Disminuir la corriente y manipular correctamente el electrodo.

J) QUEMADA EN LA PLACA

DESCRIPCION.- Quemaduras sufridas por la placa o metal base, que disminuyen su espesor.

REGISTRO RADIOGRAFICO.- Registro obscuro en el metal base de tamaños y formas irregulares y variadas. Pueden presentarse roturas en el centro de estas quemadas. Ver Fig. 5.13.

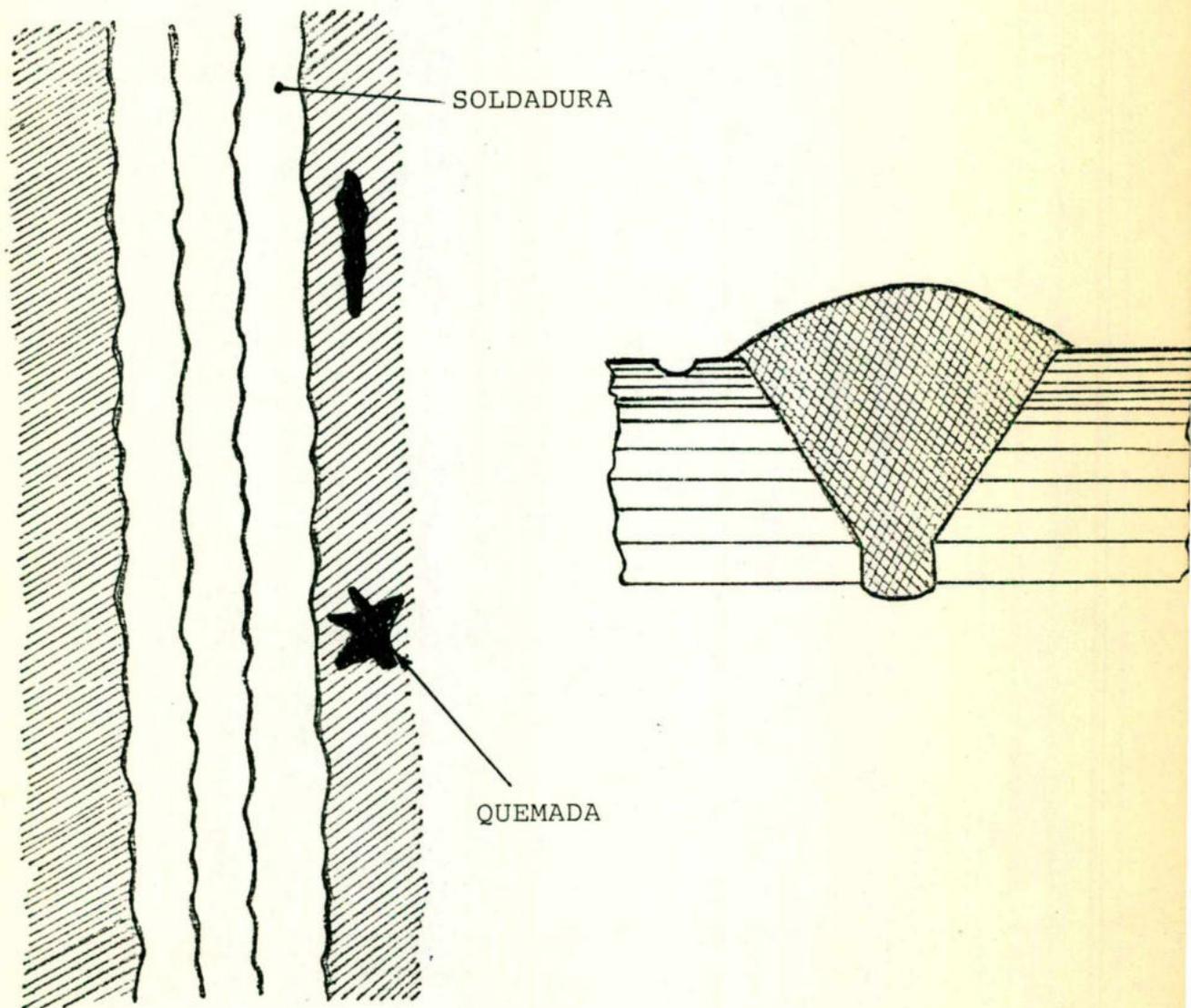
CAUSAS.- Lugar donde se soldó alguna pieza como auxiliar para el armado de la tubería con conexiones, soldador descuidado que hizo contacto con el metal base para calentar el electrodo o probar la corriente.

REMEDI0.- Tener cuidado al quitar todos los aditamentos que se utilizan para el armado de piezas en la construcción de instalaciones. Nunca puntear o aplicar el electrodo sobre el metal base. Si se desea probar la corriente se debe de arrastrar el electrodo sobre el cordón de soldadura.

K) CORONA BAJA

FIGURA 5.13

QUEMADA EN PLACA



DESCRIPCION.- Defecto relacionado con el perfil especificado para la soldadura. Se presenta cuando los cordones de vista, han sido insuficientes para cubrir el espesor total del metal base.

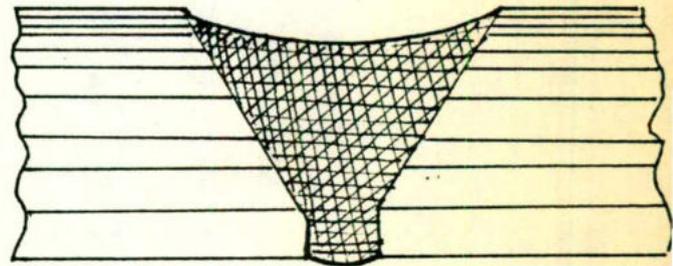
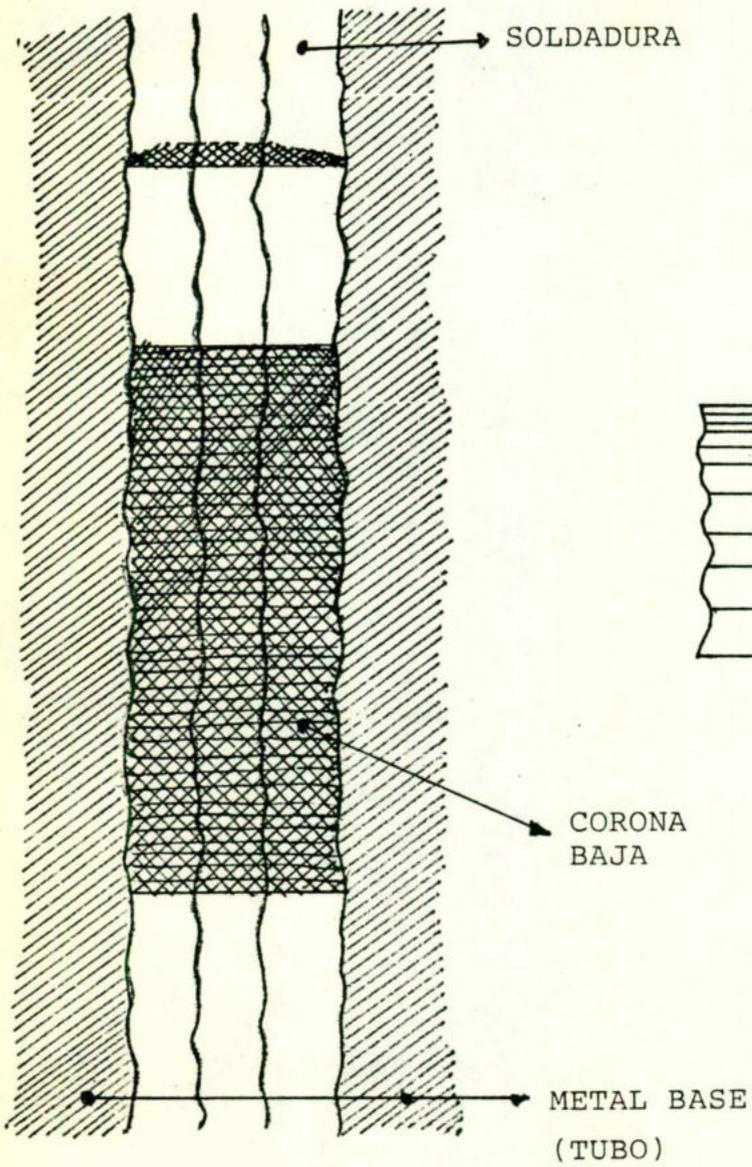
REGISTRO RADIOGRAFICO.- Como se observa en la figura 5.14 la soldadura presenta una imagen más oscura que la del metal base.

CAUSA.- El no aplicar un cordón más de soldadura a la junta, lo que provoca que la soldadura tenga un espesor menor al del metal base.

REMEDIOS.- Agregar más soldadura hasta que se cubra totalmente la ranura, pero sin que el refuerzo exceda el valor permitido por las normas.

FIGURA 5.14

CORONA BAJA



5.2.3. DEFECTOS EN LAS PROPIEDADES DEL METAL BASE O DE APORTE

La detección de los defectos relativos a las propiedades mecánicas y químicas del metal base o de aporte, constituyen un aspecto importante para asegurar que la construcción que se ejecuta esté dentro de las normas y parámetros especificados para cada proyecto en particular.

Esta importancia estriba en el hecho de que la construcción de una obra no implica solamente el que el material se instale de forma adecuada o con los procedimientos constructivos conforme a las normas, sino que el material en sí sea sujeto de inspección, ya que pudiesen existir defectos en la fabricación del mismo.

Los materiales de construcción en líneas, para el caso que nos ocupa, se reduce a dos tipos: la tubería y los electrodos o metal de aporte para la soldadura.

La tubería utilizada comúnmente, se fabrica siguiendo las normas API-5LX, misma que nos indica que la tubería que presente los siguientes defectos, debe ser rechazada:

Ovalamiento, bajo espesor de pared debido a corrosión, golpes profundos, defectos, pérdida de material debido a "quemadas" durante el proceso de soldadura, desalineamiento en el cordón de soldadura longitudinal etc.

A criterio de la supervisión se determina en campo, cuáles de

los defectos observados en la tubería, requieren el rechazo de todo el tubo o sólomente de la sección afectada del mismo.

Independientemente de la examinación visual de la tubería, se debe exigir al fabricante la garantía de la misma, así como los análisis de colada del acero utilizado. Si se considera conveniente se cortarán secciones de aproximadamente 0.50 m de longitud al azar, para llevar a cabo pruebas destructivas y no destructivas del material, a fin de ratificar que la tubería se ha suministrado conforme a los requerimientos químicos y mecánicos que indica la norma API-5LX. [1, 8-10]

En el caso de los electrodos se pueden tener defectos como consecuencia de la calidad del metal de aporte o también por la calidad del revestimiento.

Para el metal de aporte, es importante tener un buen control químico durante su fabricación, procurando que su composición sea constante y libre de impurezas, como el azufre y el fósforo.

La detección de estos defectos en campo, es difícil, lo conveniente es solicitar al fabricante un análisis de colada del lote de electrodos que está suministrado.

Los defectos del revestimiento, se observan a simple vista; los revestimientos fisurados, deben descartarse, ya que indican una

mala fabricación, de igual forma los que muestran gran fragilidad, los que no estén bien cortados, aquellos en los que el espesor no sea constante en toda la longitud del electrodo, etc.

La inspección visual de los defectos, en las propiedades del metal base o de aporte, es el parámetro principal que nos va a permitir conocer la aceptación o rechazo del material de una forma inmediata, pero la prueba definitiva de las condiciones del mismo, es al aplicar la soldadura y que ésta sea objeto de inspección, tanto destructiva como no destructiva siguiendo los lineamientos de la norma API-1104.

5.3. CRITERIOS DE ACEPTACION Y RECHAZO DE DEFECTOS

Como se explicó al inicio del capítulo número 3, todo el proceso de soldadura en la construcción de líneas de Conducción de Hidrocarburos, debe apegarse estrictamente a la norma API-1104, estandar para la soldadura de líneas, tuberías e instalaciones relacionadas.

Siguiendo los lineamientos marcados por la norma API-1104, se establecen los criterios para aceptación o rechazo de los defectos que han sido detectados por la inspección radiográfica o algún otro tipo de inspección no destructiva como partículas penetrantes, inspección ultrasónica, inclusive inspección visual.

Esta norma reconoce que no existen ni los materiales ni los procedimientos perfectos para alcanzar una junta de soldadura perfecta, de ahí que establezca parámetros para su aceptación. A continuación, se relacionan las limitantes de la norma para cada tipo de defecto.

A.- POROSIDAD

POROSIDAD ESFERICA.- La dimensión máxima de cualquier poro esférico, no debe ser mayor a 1/8" (3.17mm) o al 25% del espesor de pared del tubo, lo que sea menor. La distribución máxima de porosidad, no deberá exceder a la mostrada en las figs. 5.15 y 5.16. [7, 25]

POROSIDAD CILINDRICA.- La longitud de un poro cilíndrico, no

FIGURA 5.15

[7, 26]

ESPESOR DE PARED DE 1/2" (12.7 mm) O MENORES
MAXIMA DISTRIBUCION DE POROSIDAD

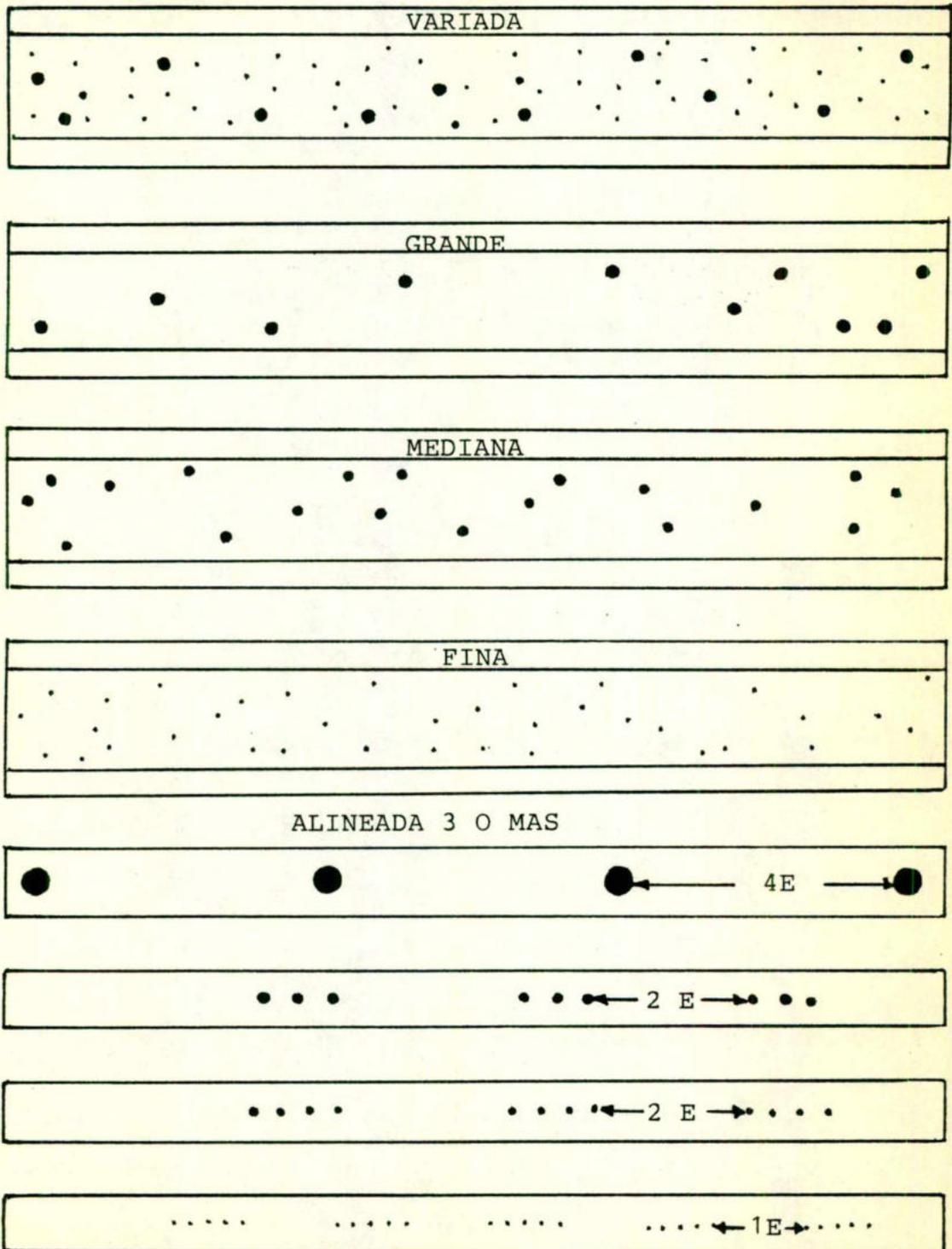
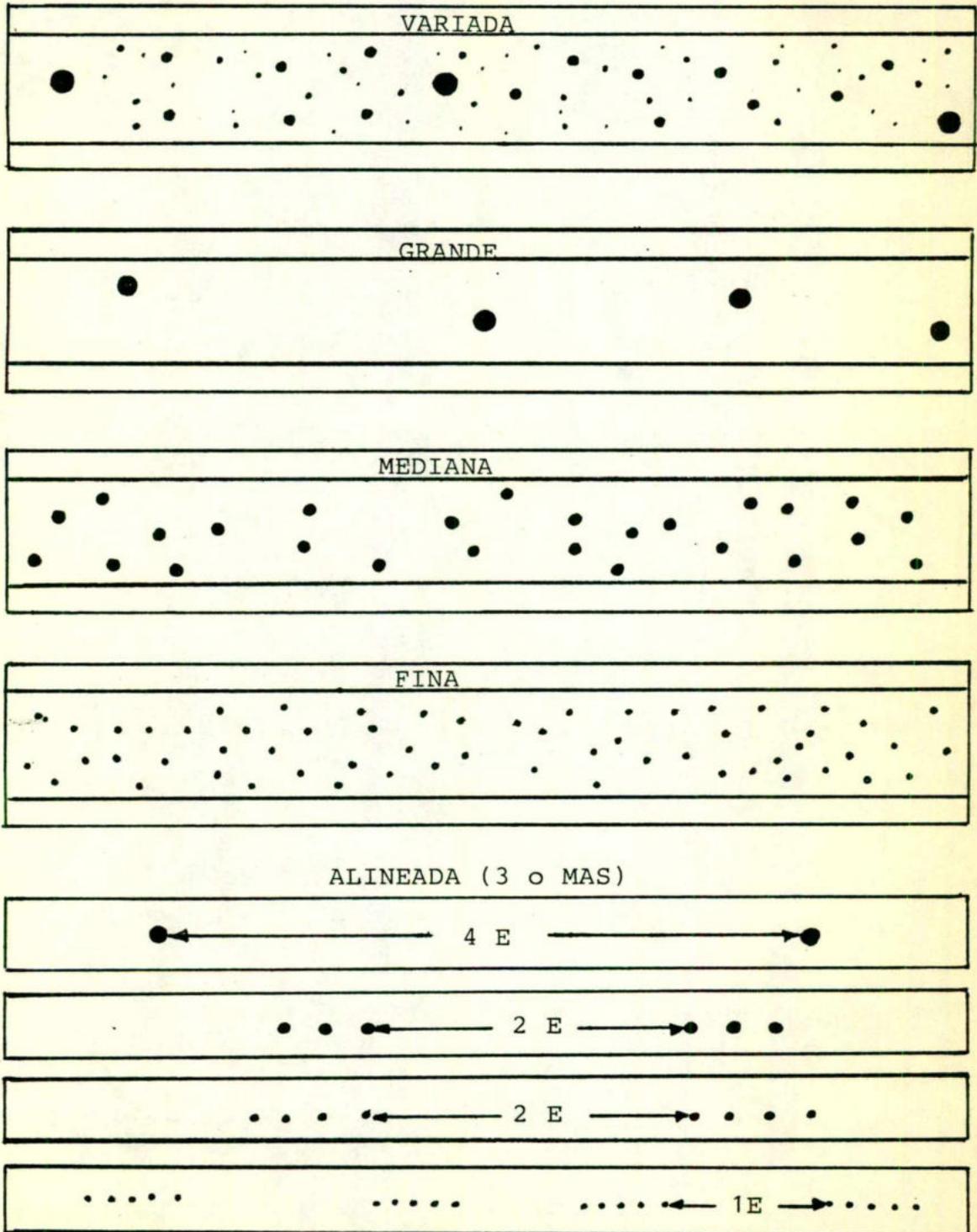


FIGURA 5.16

[7, 26]

ESPESOR DE PARED MAYOR 1/2" (12.7 mm)

MAXIMA DISTRIBUCION DE POROSIDAD



debe ser mayor a $1/8$ " (3.17 mm) o 25% del espesor de pared del tubo, lo que sea menor. La distribución máxima de la porosidad cilíndrica no deberá exceder a la mostrada en las figs. 5.15 y 5.16. [7, 28]

PORO TUNEL.- La longitud máxima de este defecto debe ser de $1/2$ " (12.7). La longitud total de los poros tunel, localizados en cualquier conrdón de soldadura de 12" (304.8mm) de longitud no debe exceder de 2" (50.8mm). Los poros tunel de más de $1/4$ " (6.35 mm) de longitud que se encuentran adyacentes deben estar separados por lo menos por 2" (50.8 mm) de soldadura sana. [7,28]

B.- INCLUSIONES DE ESCORIA

En tubería de $2\ 3/8$ " diámetro exterior y mayores. El ancho máximo de la inclusión de escoria no debe ser mayor a $1/8$ " (3.17mm). La longitud total de las inclusiones de escoria en un cordón de soldadura de 12" (304.8) de longitud, no debe ser mayor a $1/2$ " (12.7 mm) ni deberán existir más de 4 inclusiones de un ancho de $1/8$ " en esta longitud.

En tubería de diámetro exterior menor de $2\ 3/8$ ". El ancho máximo de cualquier inclusión de escoria no debe ser mayor a 0.5 veces el espesor de pared del tubo y la longitud total de dichas inclusiones no debe exceder dos veces el espesor de pared. [7,25]

C.- LINEAS DE ESCORIA

En tubería de $2\ 3/8$ " diámetro exterior y mayores. Las líneas de

escoria no deben exceder de 2" (50.8mm) de longitud o 0.062" de ancho. La longitud total de las inclusiones alineadas, no deben ser mayores a 2" (50.8mm) en cualquier tramo de soldadura de 12" (304.8mm) de longitud. Las líneas dobles de escoria, deben considerarse condiciones separadas si el ancho de cualquiera de ellas no excede de 0.031" (0.79mm).

En tubería de diámetro exterior menor a 2 3/8". Las líneas de escoria no deben exceder de 0.0625" (1.59mm) de ancho o 3 veces el espesor de pared del tubo, en longitud, las líneas dobles de escoria, se consideran de igual forma que en el caso de tuberías de diámetros mayores a 2 3/8". [7, 25]

D.- FALTA DE FUSION

La fusión incompleta en la raíz de la junta o en su parte superior, entre el metal de la soldadura y el metal base, no debe tener una longitud mayor a 1" (25.4mm). La longitud total de puntos con falta de fusión en un tramo de soldadura de 12" (304.8mm) de longitud, no deben ser mayores a 1" (25.4mm). Si el cordón de soldadura tiene una longitud menor a 12", la suma de los puntos con falta de fusión no deben ser mayores a un 8% de la longitud de la soldadura. [7, 22]

E.- FALTA DE PENETRACION

La longitud de alguna zona con falta de penetración en la raíz de la soldadura, no debe ser mayor a 1" (2.54mm) en un cordón de

soldadura de 12" (304.8mm) de longitud. La suma de los defectos de este tipo, no deben ser mayores a 1" (2.54mm). Si el cordón de soldadura tiene menos de 12", la suma de defectos no debe ser mayor del 8% de la soldadura. [7, 22]

F.- FALTA DE PENETRACION DEBIDO A DESALINEAMIENTO DE LA TUBERIA (HIGH LOW).

Este defecto no es condenable, siempre y cuando la raíz esté completamente unida por el metal de la soldadura. Cuando no se cumple esta condición, el defecto no debe ser mayor a 2" (50.8mm) de longitud. En un cordón de soldadura de 12" (304.8mm), la suma de este tipo de defectos, no deben ser mayores a 3" (76.2mm) de longitud. [7, 22]

G.- ROTURAS

Cualquier soldadura con rotura, sin importar su tamaño o localización, debe ser rechazada.

Se exceptúan las roturas con forma de estrella, provocadas por la contracción del metal de soldadura durante la solidificación, siempre y cuando su longitud no sea mayor a 5/32" (3.96mm). [7,28]

H.- SOCAVADO

El socavado no debe exceder los siguientes parámetros:

PROFUNDIDAD

LONGITUD MAXIMA PERMITIDA

Superior a $1/32$ " (0.79mm)
o mayor al 12.5% del
espesor de pared del tubo
lo que sea menor.

No se acepta

Superior a $1/64$ " (0.4mm)
hasta $1/32$ " (0.79)
o un 12.5% del espesor
de pared del tubo, lo que
sea menor.

No debe exceder de 2" (50.8mm) en
cualquier tramo de soldadura de
12" (304.8mm) de longitud o $1/6$ "
de la longitud total de la
soldadura, lo que sea menor.

Inferior a $1/64$ " (0.4mm)
o un 6% del espesor de
pared del tubo, lo que
sea menor.

Es aceptable, no importa su lon-
gitud.

I.- CONCAVIDAD EN LA RAIZ

Si la imagen radiográfica de una concavidad en la raíz tiene una densidad mayor a la densidad que presenta el metal base, las dimensiones de este defecto no deberán exceder los parámetros que se establecen para una quemada (inciso K). Cuando la densidad de la concavidad en la raíz sea menor a la densidad del metal base, este defecto no es condenable.

K.- QUEMADAS

En tubería de $2\ 3/8$ " diámetro exterior y mayores. No deberá ser

mayor a $1/4$ " (6.35mm) o una vez el espesor de pared del tubo, lo que sea menor. La suma de las quemadas presentes en un cordón de soldadura de 12" (304.8mm) de longitud no deben exceder de $1/2$ ".

En tubería de diámetro exterior menor a $2\ 3/8$ " no se acepta más de una quemada, la misma no debe exceder a $1/4$ " o una vez el espesor de pared de la tubería, lo que sea menor. [7, 22]

5.4. REPARACION DE DEFECTOS

El técnico radiólogo, elabora su reporte de inspección radiográfica, después de haber catalogado y comparado los defectos presentes en la soldadura con los parámetros de la norma API-1104. En su reporte indica cuales de los defectos, según su análisis han quedado dentro de norma.

El reporte es presentado al Ingeniero Supervisor de soldadura. Este califica el diagnóstico del radiólogo, observando cada una de las radiografías que se le presentan. Si el defecto es condenable, da instrucciones a la compañía constructora para que a la brevedad sea reparada o rechazada definitivamente la junta de soldadura según los lineamientos de la API-1104 para estos casos. Esta norma, permite la reparación de los defectos localizados en el cordón de fondeo y los de relleno, previa autorización de la supervisión, excepto las roturas. Los defectos del cordón de vista sí pueden ser reparados sin la autorización del supervisor.

Si se está efectuando una reparación de un área que ya había sido arreglada, deberá manejarse como si se tuviera una rotura.

Para proceder a su reparación, se deberá desbastar el defecto con una pulidora eléctrica, hasta tener metal de soldadura sano. Se procederá a eliminar todos los restos de escoria y esquirlas de metal. Posteriormente se depositará la soldadura en la zona

del defecto siguiendo el procedimiento calificado de soldadura.

El área reparada deberá ser radiografiada nuevamente con el objeto de confirmar que la junta ha quedado libre de defectos condenables por la norma. El radiólogo emite un nuevo reporte de la inspección de la reparación para ser presentado a la supervisión y que quede constancia de las condiciones finales de la junta arreglada.

Todas las juntas con roturas, deben de ser retiradas de la línea de tubería efectuando el corte de la misma.

La supervisión, a criterio, puede autorizar la reconstrucción de una rotura, siempre y cuando se cumpla con lo siguiente:

- A.- La rotura sea menor a un 8% de la longitud de la junta.
- B.- Exista un procedimiento completo y bien documentado para la reparación de las roturas. Este procedimiento debe contener lo siguiente:
 - Método de exploración del área con roturas.
 - Método de remoción de roturas.
 - Requerimiento de precalentamiento.
 - Procedimiento de soldadura y tipo de electrodo.
 - Requerimiento de inspección no destructiva entre cada cordón de soldadura.
 - Tratamiento térmico posterior a la soldadura.
- C.- La reparación deberá ser ejecutada en presencia de un técnico experimentado en este tipo de trabajos.

D.- La ranura que queda después de haber removido el defecto, deberá ser objeto de una inspección con partículas magnéticas o líquidos penetrantes, para estar completamente seguros que se ha removido la rotura.

En la práctica, al presentarse una junta de soldadura con una rotura es más conveniente, en términos de tiempo, retirar el cordón de soldadura de la línea efectuando el corte a ambos lados de la soldadura, sacando el carrete de la línea, juntando nuevamente los tubos y aplicando una nueva soldadura.

6. PRUEBAS DE LA SOLDADURA

6.1. PRUEBAS MECANICAS DE LA UNION SOLDADA

En la sección 2.4, del capítulo 3, nos referimos a las pruebas mecánicas o destructivas para calificar la soldadura aplicada por un soldador en proceso de examinación.

Independientemente de que estas pruebas se realicen para la calificación de un soldador, se pueden ejecutar en cualquier momento de la producción de la soldadura. Ya sea como un parámetro para establecer en qué grado se está alcanzando las propiedades mecánicas requeridas para el cordón de la soldadura, o bien, como método destructivo para analizar los problemas que se presenten en campo.

La figura número 2 del capítulo 3, nos muestra los puntos donde han de ser obtenidas las probetas para las pruebas mecánicas, las cuales son:

- Resistencia a la tensión
- Ranura y Rotura
- Doblado de Cara y Raíz
- Doblado Lateral

El número de probetas necesarias para calificar la soldadura en función del diámetro de la tubería, se indica en la tabla 3.1.

Como ha sido la tónica a seguir a lo largo de este trabajo, las pruebas mecánicas de la soldadura están sustentadas siguiendo lo establecido por la norma API-1104.

En primera instancia las probetas se obtienen del cordón de soldadura en la forma indicada por la figura 3.2. Se obtendrán tantas como sean necesarias, de tal forma que cubran lo solicitado en la tabla 3.1.

Todas las probetas deben ser enfriadas en aire, hasta que alcancen la temperatura ambiente, antes de ser probadas.

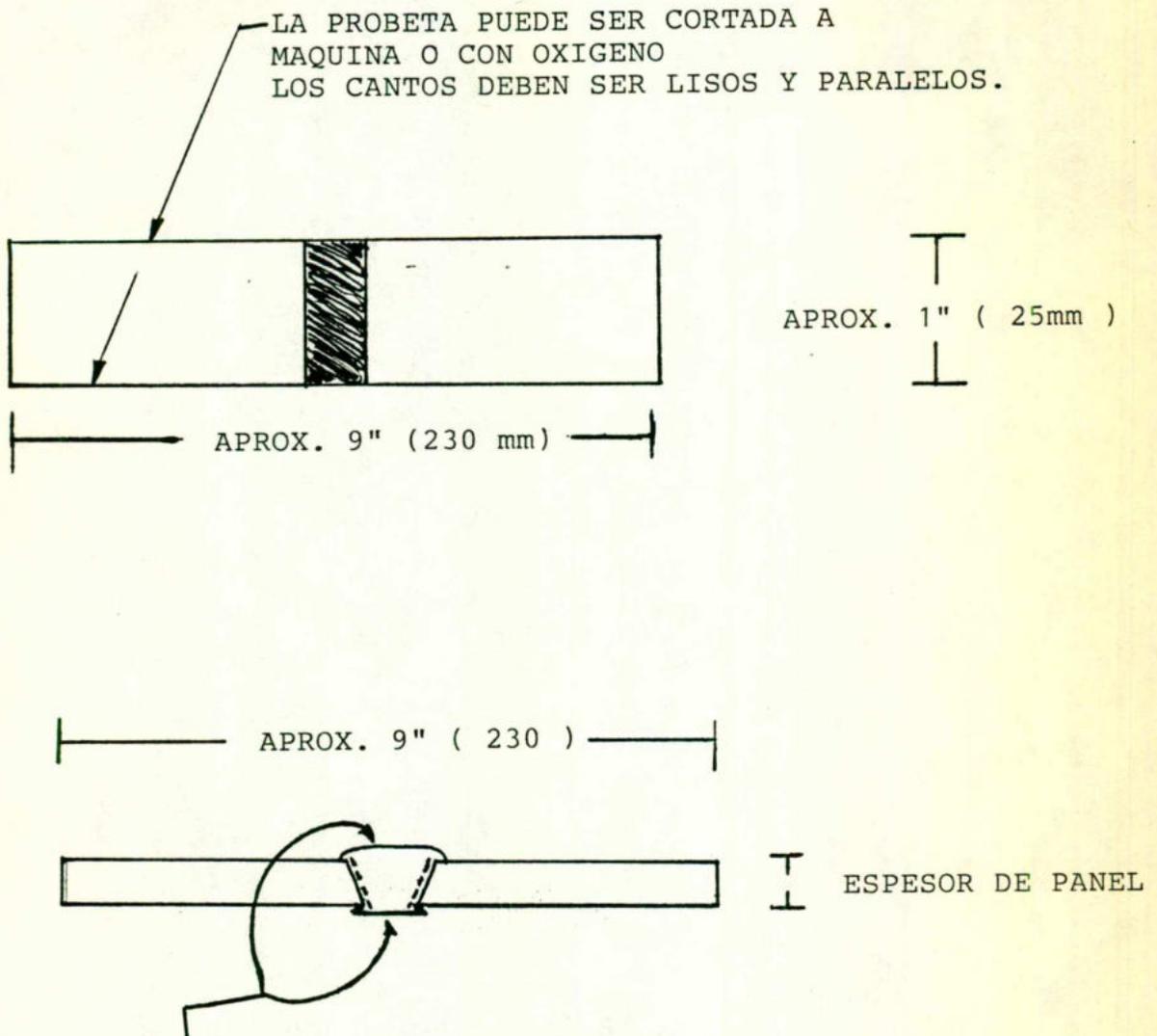
A.- RESISTENCIA A LA TENSION

La figura 6.1, nos ilustra la probeta para el ensayo de resistencia a la tensión.

Habiéndose obtenido la probeta, se ejecuta la prueba en un equipo apropiado, capaz de medir la carga aplicada en el momento que ocurre la rotura de la probeta. La resistencia a la tensión es calculada dividiendo la carga máxima aplicada entre el área transversal de la probeta antes de que se haya aplicado alguna carga.

La resistencia a la tensión de la soldadura, incluyendo la zona de fusión de cada probeta, debe ser igual o mayor a la resistencia y a la tensión mínima especificada del metal de la tubería o base. Si la probeta se rompe con una zona exterior a la soldadura o a su zona de fusión, cubriendo los requerimientos mínimos de resistencia, la soldadura debe ser aceptada.

FIGURA 6.1.
[6, 278]
PROBETA PARA ENSAYO DE RESISTENCIA A LA TENSION



EL REFUERZO DE LA SOLDADURA NO DEBE
REMOVERSE EN NINGUN LADO DE LA PROBETA.

Si la probeta se rompe a una resistencia menor a la especificada, la junta de la soldadura debe ser rechazada, debiéndose ejecutar una nueva soldadura. [6, 279]

B.- RANURA Y ROTURA

La figura 6.2a, nos muestra la probeta requerida para la prueba de ranura y rotura.

La probeta obtenida de esta manera, es fracturada utilizando una máquina de resistencia a la tensión o sujetando los extremos y golpeando con un martillo o aditamento lo suficientemente pesado para provocar la rotura. El área expuesta de la rotura debe ser al menos de $3/4"$ (19mm) de ancho.

El área expuesta de la rotura, figura 6.2b, debe mostrar una fusión y una penetración completa. La porosidad que se observe no debe ser mayor a $1/16"$ (1.59mm). La suma de todos los poros que se observen no deben ser mayores al 2% del área expuesta. Las inclusiones de escoria no deben tener una profundidad mayor a $1/32"$ (0.799mm), ni una longitud mayor a $1/8"$ (3.17mm) o 0.5 veces el espesor de pared del tubo, lo que sea menor y debe existir al menos $1/2"$ (12.7mm) del metal sano entre cada inclusión de escoria. [6, 280]

C.- DOBLADO DE CARA Y RAIZ

Se debe obtener la probeta de la forma indicada en la figura

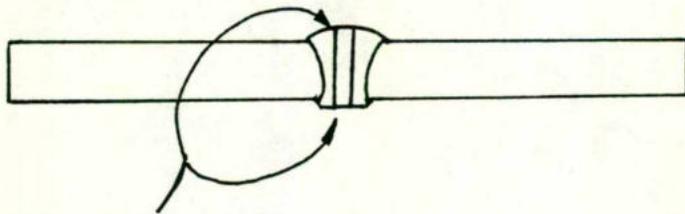
FIGURA 6. 2a
[7, 8]

PROBETA PARA ENSAYO DE RANURA Y ROTURA

RANURAS HECHAS CON SIERRA
LA PROBETA PUEDE SER COR-
TADA POR MAQUINA O CON
OXIGENO . Y LOS CANTOS
DEBEN ESTAR LISOS Y PARALELOS .



APROX. 9"



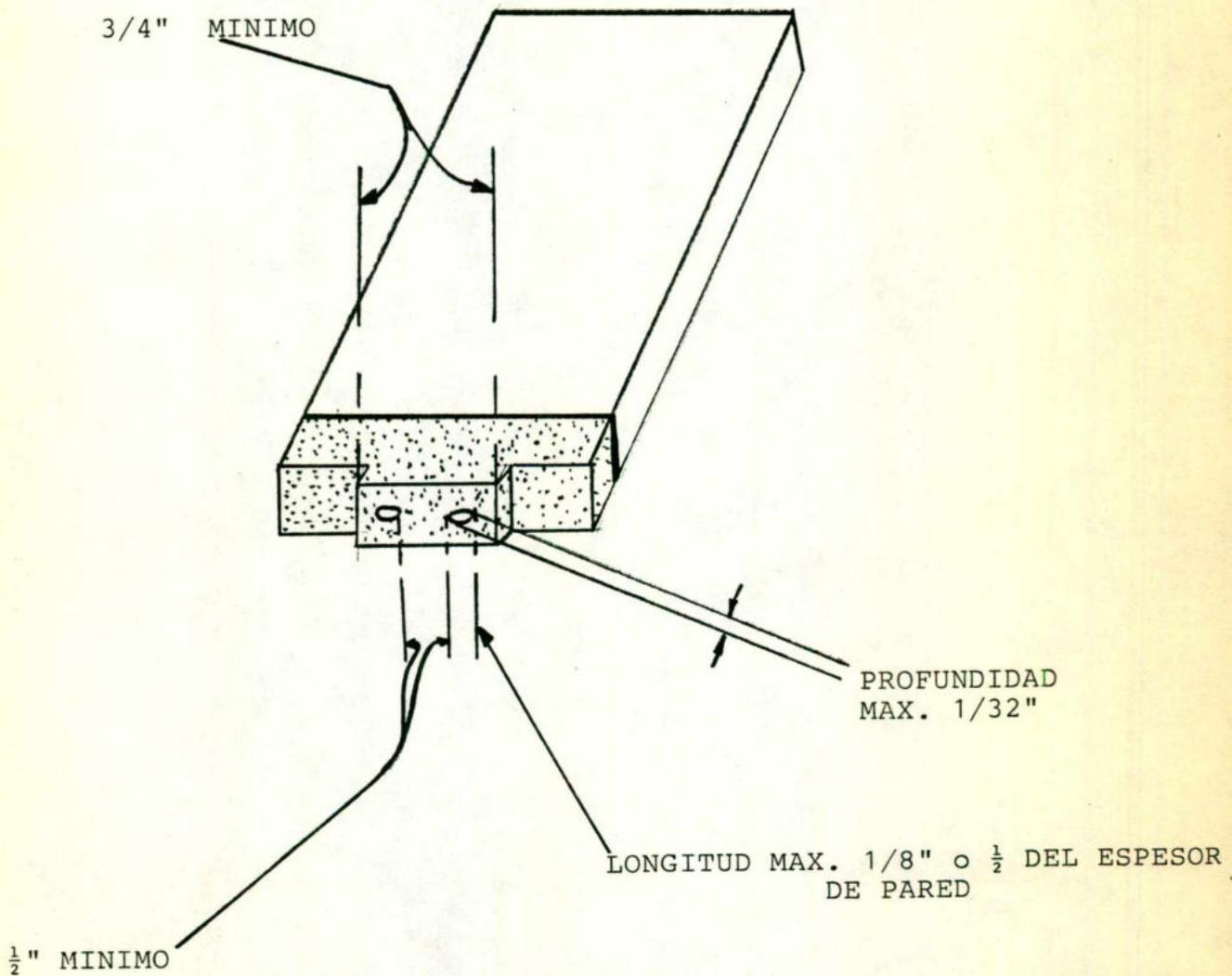
ESPESOR DE
PARED

EL REFURZO NO DEBE
ELIMINARSE EN NINGUNO
DE LOS LADOS DE LA
PROBETA

FIGURA 6 2b

[6, 281]

DIMENSIONES DE DISCONTINUIDAD DE LA SOLDADURA
PRUEBA DE RANURA Y ROTURA



6.3. Se coloca la probeta en una guía dobladora para prueba, figura 6.4. con el cordón de soldadura a la mitad. En el doblado de cara, la probeta debe ser colocada con la cara de la soldadura directamente hacia la abertura. En el doblado de raíz, la probeta debe ser colocada con la raíz o parte interna de la soldadura hacia la abertura.

En la prueba, el émbolo es forzado dentro de la abertura hasta que la probeta tome la forma de una "U".

La probeta ya doblada se considera en condiciones aceptables, si no hay grietas u otros defectos que excedan 1/8" (3.17mm) o 0.5 veces el espesor de pared del tubo, el que sea menor, en cualquier dirección que se presenten en la soldadura o entre la soldadura y la zona de fusión después de haberse doblado.

Las grietas que se originen a lo largo de los bordes de la probeta durante la prueba, que sean menores a 1/4" (6.35mm), medidas en cualquier dirección, no son condenables, a menos que se observen como defectos evidentes.]6, 283]

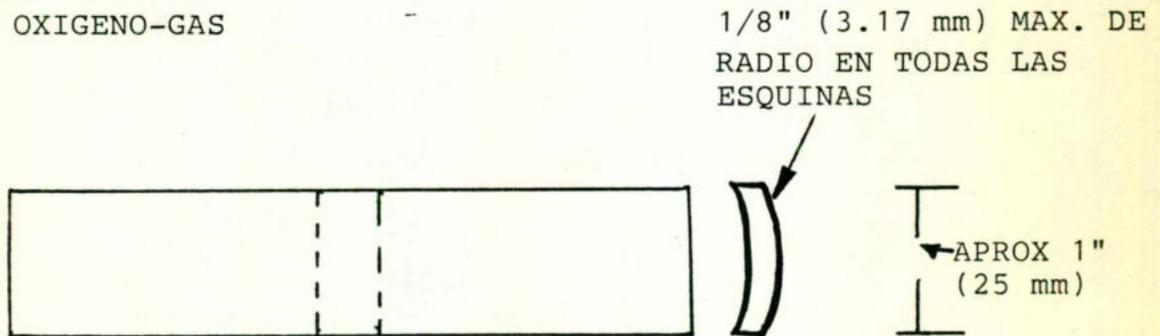
D.- DOBLADO LATERAL

La probeta se obtiene de la forma ilustrada por la figura 6.5. La probeta debe ser doblada en la guía dobladora mostrada en la figura 6.4. La probeta debe colocarse con la soldadura a la mitad de la abertura y con la raíz de la soldadura a 90° de la

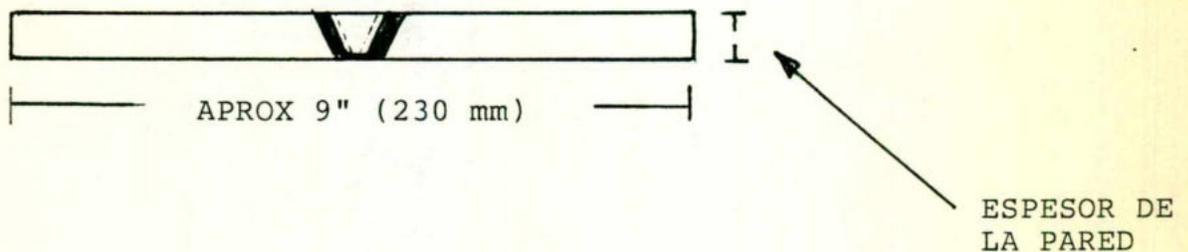
FIGURA 6.3
[6, 278]

PROBETA PARA ENSAYO DE DOBLADO DE CARA Y RAIZ
(ESPESOR DE PARED DE 0.5 PULG 12.7 mm Y MENORES)

LA PROBETA PUEDE SER
CORTADA A MAQUINA O
CON OXIGENO-GAS



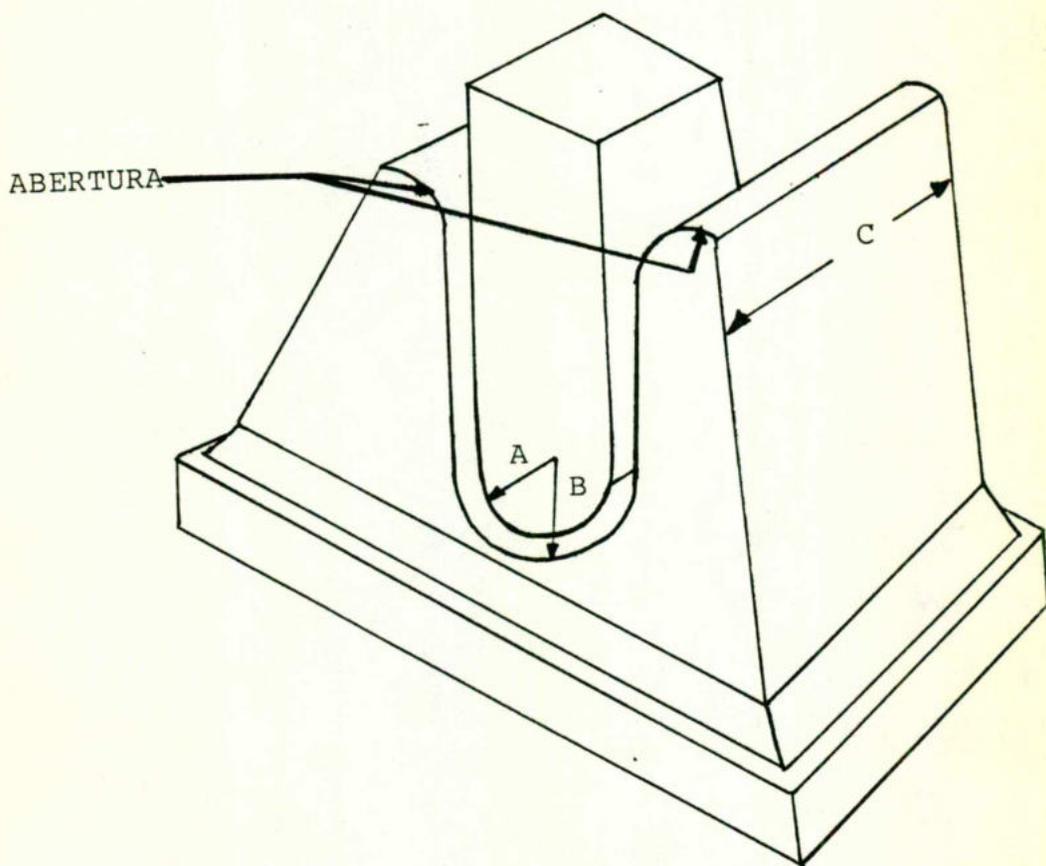
SOLDADURA



EL ESFUERZO DE LA SOLDADURA DEBE SER REMOVIDO
DE AMBOS LADOS, NIVELANDOLO CON LA SUPERFICIE
DE LA PROBETA. LA CUAL NO DEBE SER APLASTADA
ANTES DEL ENSAYO.

FIGURA 6.4.
[7, 10]

GUIA PARA ENSAYO DE DOBLADO

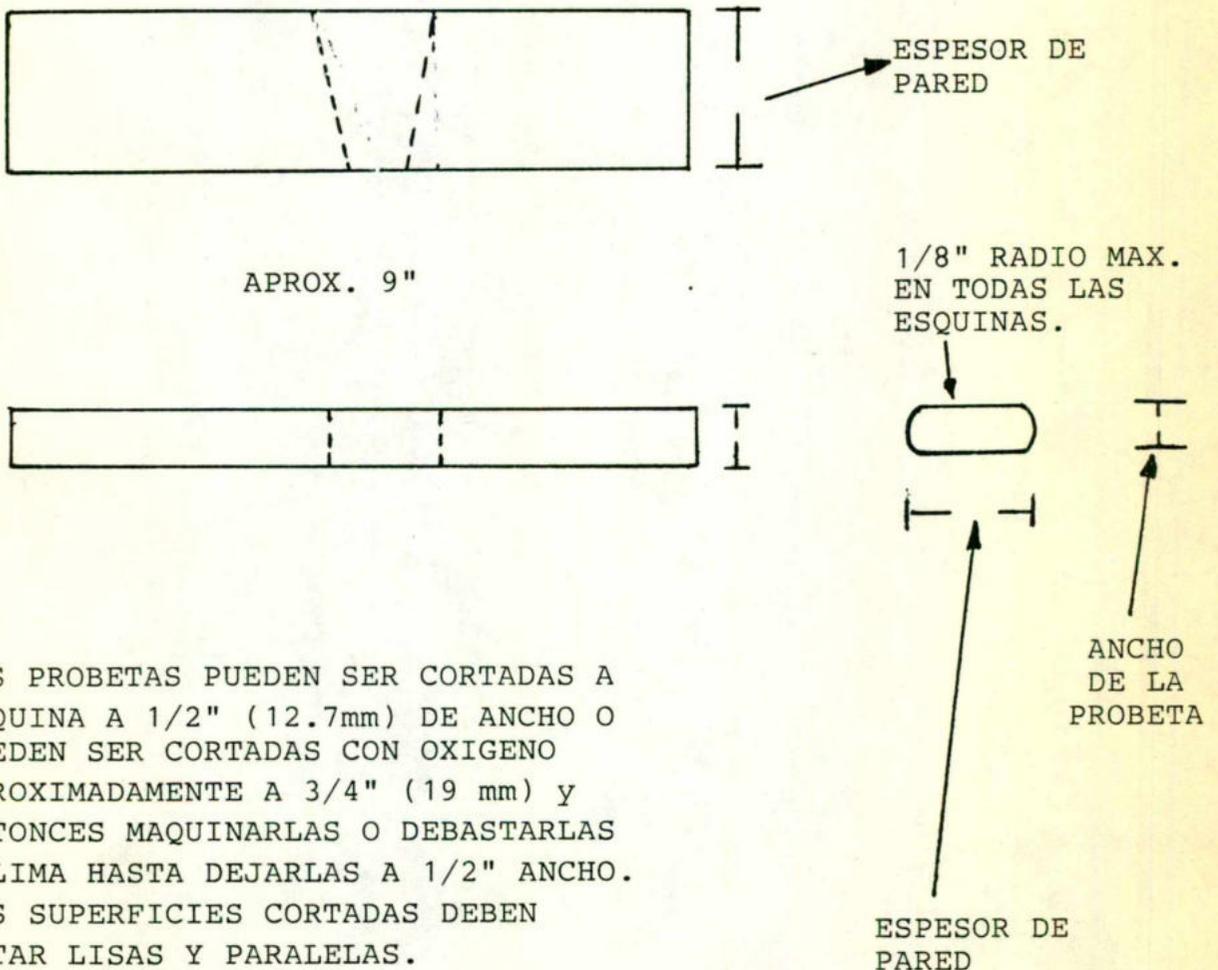


- A= 1 3/4 PULG. (44.45 mm) RADIO DEL EMBOLO
B= 2 5/16 PULG. (58.74 mm) RADIO DEL DADO
C= 2.0 PULG. (150.8 mm) ANCHO DEL DADO

FIGURA 6.5.
[6, 278]

PROBETA PARA ENSAYO DE DOBLADO LATERAL
(ESPESORES DE PARED MAYORES DE 0.5 PULG. 12.7mm)

EL ESPESOR DE LA SOLDADURA DEBE
SER ELIMINADO DE AMBAS CARAS Y
NIVELADO CON LA SUPERFICIE DE
LA PROBETA.



LAS PROBETAS PUEDEN SER CORTADAS A
MAQUINA A 1/2" (12.7mm) DE ANCHO O
PUEDEN SER CORTADAS CON OXIGENO
APROXIMADAMENTE A 3/4" (19 mm) y
ENTONCES MAQUINARLAS O DEBASTARLAS
A LIMA HASTA DEJARLAS A 1/2" ANCHO.
LAS SUPERFICIES CORTADAS DEBEN
ESTAR LISAS Y PARALELAS.

dirección del dobléz. El émbolo debe forzarse dentro de la abertura hasta que la probeta tome la forma de una "U".

En esta prueba se deben cubrir los requisitos ya indicados para la prueba de doblado de cara y raíz.

6.2. PRUEBA HIDROSTATICA O DE HERMETICIDAD

La sección 3.3.1. del capítulo 3, nos hace saber de las fases constructivas de las líneas de conducción de hidrocarburos.

Después de las fases de soldadura, protección anticorrosiva y bajado de la tubería, se debe revisar que la línea de tubería se constituye como un solo recipiente, continuo y hermético.

Para constatar la continuidad y hermeticidad de la línea, se lleva a cabo una prueba hidrostática. Esta prueba se realiza tomando tramos de tubería ya colocados en su posición definitiva bajo la superficie. La longitud de los tramos va desde algunos cientos de metros hasta 20 o 30 kilómetros, dependiendo de los requerimientos particulares del proyecto, de la topografía del terreno o de las fuentes de abastecimiento del agua necesaria para realizar la prueba. En obras especiales, como el cruce de ríos, o pantanos, es común ejecutar la prueba antes de ejecutar el lanzamiento, ya que representa muchos problemas técnicos el reparar una fuga a la mitad de un cruzamiento de este tipo. No obstante, se debe ejecutar otra prueba después de que la tubería se encuentre en su lugar definitivo, ya que durante el lanzamiento, se puede ocasionar algún desperfecto, por lo que es necesario saber, que no se le ha hecho ningún daño en esta maniobra.

La prueba hidrostática, consiste en llenar primero con agua la

línea de tubería, en un segundo paso, se levanta la presión de la misma inyectando más agua, de tal forma que la tubería se dilate por la acción de la presión. Si en algún punto la tubería o la soldadura tubieran algún defecto, la presión provocaría la falla o rotura de la línea en el punto dañado.

La presión a que es sometida la línea, está determinada por el proyecto específico, considerando las longitudes de prueba, el material a probar, las presiones máximas y mínimas requeridas según la topografía del terreno.

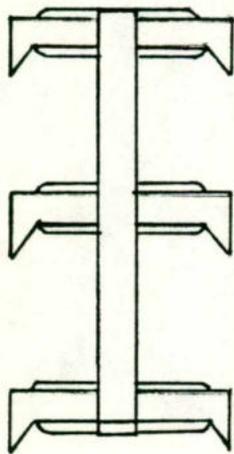
Antes de iniciar el llenado con agua, es necesario llevar a cabo la limpieza interior de la tubería, necesaria, ya que la soldadura desprende material fundido o escoria, o bien en ocasiones se olvida en el interior material de construcción, herramienta o tierra.

Esta limpieza se realiza con un aditamento especial llamado diablo, ver figura 6.6., el cual está constituido por la naturaleza de su función, con cepillos para que rasquetee las paredes interiores, o con copas de hule o poliuretano para acarrear los residuos que deja el diablo con cepillos y el agua acumulada por condensación a lo largo de la tubería. El diablo consiste en una alma de acero que lo estructura con 3 o 4 copas que funcionan como empaque, fijadas a placas de acero que se soldan a la estructura central.

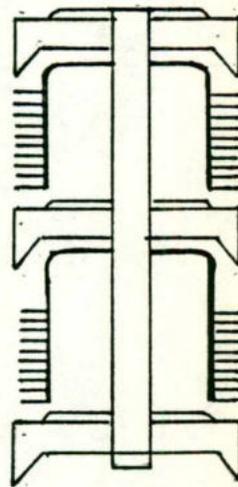
Los diablos se corren impulsados con aire a presión, en los

FIGURA 6.6
[10, 263]

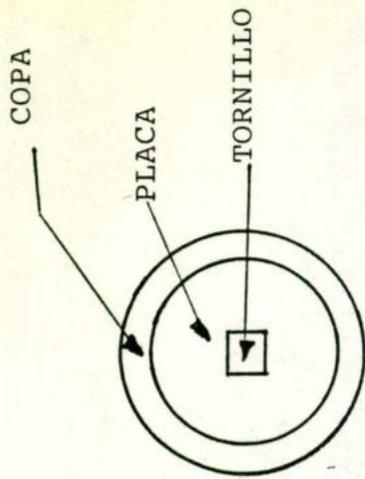
PERFIL DE DIABLOS



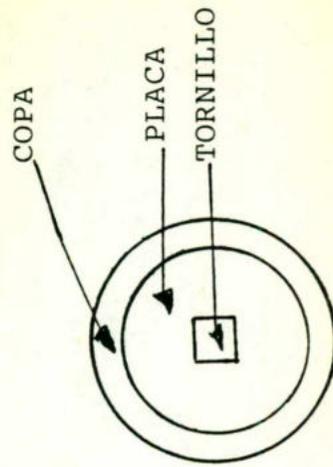
PERFIL DIABLO DE COPAS



PERFIL DIABLO DE CEPILLOS



VISTA FRONTAL



VISTA FRONTAL

tramos de tubería que se va a probar.

Para la introducción y retiro de los diablos de la línea se utilizan instalaciones denominadas trampas de recibo y envío de diablos. Aunque su función es muy similar a las instalaciones definitivas de la línea, ver sección 3.3.1. capítulo 3, en este caso se construyen trampas de carácter provisional para instalarlas en los diferentes tramos de tubería que se probará.

Después de haberse desalojado de las trampas la suciedad acarreada por el diablo, y el propio diablo, se efectúa el llenado de la línea, introduciendo nuevamente un diablo con copas para evitar las burbujas o bolsas de aire, ya que estas retardan el levantamiento de presión, así como variaciones en el registro de la prueba en la gráfica correspondiente.

El agua debe ser dulce y limpia, el equipo de bombeo debe ser el adecuado con el gasto y presión necesarios para el llenado efectivo y rápido de la línea.

Habiéndose llenado la línea, se retiran las trampas de diablos, se colocan tapones en los extremos, se instalan manómetros indicadores de presión en ambos extremos y se coloca un registrador de presión y temperatura.

El registrador tiene por objeto indicar en una gráfica circular la presión y temperatura existentes durante la ejecución de la prueba, la cual tiene una duración de 24 horas. [12, 2-13]

La prueba se ejecuta en la siguiente forma:

Mediante una inserción soldada a la línea de 2 o 4" ϕ , se levanta la presión poco a poco hasta alcanzar la presión de prueba. Al llegar a esta presión, se abre una válvula para aliviar la presión de toda la línea hasta que llegué a la mitad de presión. Esto es con el objeto de que las burbujas o bolsas de aire, sean desalojadas de la línea.

Se vuelve a levantar la presión hasta alcanzar de nuevo la presión de prueba especificada según el tipo de tubería, se instala la gráfica, la cuál va registrando la oscilación, dependiendo de las condiciones de la temperatura y presión. Por lo general en el transcurso de la prueba, especialmente por la noche, llega a disminuir la presión hasta 5 o 10 Kg/cm², dependiendo del descenso en la temperatura ambiente.

En condiciones normales no se tiene problemas con el desarrollo de la prueba, ya que siguiendo las prácticas establecidas para el manejo de la tubería y una buena aplicación e inspección de la soldadura, la gráfica nos muestra una disminución de presión al bajar la temperatura, pero al incrementarse ésta, se recupera la presión inicial "cerrando" la gráfica satisfactoriamente.

En el caso contrario, si se ha utilizado tubería en malas condiciones o de especificaciones dudosas o una mala aplicación o supervisión de la fase de soldadura, se pueden presentar fugas en el cordón longitudinal del tubo, o debido a poros o

roturas en las juntas de la soldadura . Estas fugas se detectan por la súbita caída de presión, si se ha abierto el tubo en su costura; o bien en una disminución lenta pero constante si se presentan poros o roturas en las soldaduras.

Las fugas son localizadas recorriendo a pie la longitud del tramo probado. El terreno saturado con agua en algún punto determinado indicará la localización de fuga. Se procede a excavar el lugar, se desaloja el agua con una bomba de achique, se observan las características y dimensiones de la fuga y se procede a cortar el tramo con falla y es reemplazado por uno de tubería nueva.

Como es lógico, se efectúa la inspección radiográfica de las juntas de soldadura de la tubería nueva para proceder a taparla nuevamente una vez que se encuentre en óptimas condiciones.

Cuando la falla ocurre debido a defectos en el material de construcción, los costos de la reparación corren a cargo de Petróleos Mexicanos. Por el contrario si la falla es por mala aplicación de soldadura o mal manejo de tubería al momento de bajarse a la zanja, los gastos correrán por cuenta de la Compañía Constructora.

Tantas pruebas y reparaciones se ejecutarán en el tramo de prueba como sean necesarias, de tal forma que al final se obtenga una gráfica de prueba hidrostática ,donde la presión se

mantenga, desde el inicio hasta el final de las 24 horas, considerando las oscilaciones por efecto de la temperatura.

El proceso de prueba hidrostática, ha de ejecutarse en un 100% de la longitud de la línea, ya que las gráficas de prueba obtenidas en cada tramo, constituyen el certificado de garantía de que la obra se ha llevado a cabo dentro de las normas y especificaciones establecidas para la construcción de líneas y de esta manera se encuentre en óptimas condiciones de operación.

CONCLUSIONES

A lo largo de este trabajo, se ha procurado plasmar de la forma más simple y práctica, la aplicación de la soldadura y su inspección durante la construcción de una Línea de tubería para Conducción de Hidrocarburos.

Esta actividad se resume en la secuencia indicada a continuación:

- Establecer un procedimiento calificado de soldadura.
- Calificar la habilidad de los Soldadores para llevar a la práctica el proceso establecido exitosamente.
- Ejecutar la soldadura.
- Supervisar la aplicación de la soldadura.
- Inspeccionar la soldadura.

Los factores que van a asegurar la consecución de una soldadura dentro de los parámetros establecidos para su ejecución, norma API-1104, son los siguientes:

a) Un buen procedimiento de soldadura, con los suficientes ensayos, mediante pruebas destructivas y no destructivas, que aseguren que el procedimiento sea el más idóneo para el tipo de material que se utiliza, así como para las condiciones en que se va a ejecutar la obra.

b) Una buena mano de obra, ya que independientemente de lo sofisticado del equipo o del procedimiento, el Soldador, sin mayor aporte que su capacidad y experiencia, es quien ejecuta el

trabajo, nadie más. Si se tiene un buen Soldador, se obtiene una buena soldadura.

c) La Supervisión, juega un papel importante, ya que con su dedicación, constancia y experiencia, van complementando la labor de los Soldadores. El ir vigilando su trabajo, haciendo aportaciones de ideas y corrigiendo los defectos o "vicios" de algunos de ellos, elevan la calidad de la soldadura aplicada.

El papel de la Inspección Radiográfica, es el de constatar que los tres factores referidos, se hayan cumplido, quedando así un registro permanente que hace constar que todas y cada una de las juntas de soldadura aplicada se encuentran dentro de los parámetros establecidos.

En sí la inspección radiográfica no se considera como un medio para alcanzar solduras exitosas, sino para establecer un Control sobre la aplicación de la soldadura.

La conjugación de todos los factores involucrados en este resumen, constituyen un procedimiento constructivo al cual debemos apegarnos para poder alcanzar los objetivos tan estrictos para una obra de esta magnitud.

A nivel construcción, se establece que una línea de este tipo, debe tener una vida útil que va de 10 a 15 años. Si desde su inicio no son alcanzados los parámetros de calidad especificados, de ningún modo se podrá llegar a tales períodos de utilización de dichas obras.

Es definitivo que la ciencia y la técnica que aportemos a la ejecución de las obras de este tipo, que en un principio se llevaban a cabo en forma "empírica", redunden en procedimientos más rápidos y exitosos.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. ESPECIFICACION FOR LINE PIPE SP. 5L, 5Lx, 32th, Ed. 1983. API. PUB.
Cit. Bibl. 8, 10, 14.
- 2.- INSTITUTO MEXICANO DEL PETROLEO. PRINCIPIOS METALURGICOS DE LA SOLDADURA. Publicación 78 HG/256A. Ed. Imp. 1984.
Cit. Bibl. 49, 54, 76, 78, 84.
- 3.- SEFRIAN, DANIEL. LAS SOLDADURAS TECNICA-CONTROL. 1a. Ed. 1981. Ed URMO, BILBAO.
Cit. Bibl. 61, 79, 81, 97, 98.
- 4.- INSTITUTO MEXICANO DEL PETROLEO. SOLDADURA. Pub. Imp. 1986.
Cit. Bibl. 45-85
- 5.- PATTON, WJ. THE SCIENCE AND PRACTICE OF WELDING. 1a. Ed. 1967. Ed PRENTICE-HALL.
Cit. Bibl. 22, 240, 241-246, 298-313.
- 6.- PETROLEOS MEXICANOS. SISTEMAS DE TRANSPORTE DE PETROLEO POR TUBERIA. NORMA No. 3.421.01 Ed. PEMEX. 1988.
Cit. Bibl. 23, 269, 278-281, 283, 313.
- 7.- AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. STANDAR FOR WELDING PIPELINES AND RELATED FACILITIES.
SP. API-STD-1104.

14th. Ed. 1977.

Cit. Bibl. 6-11, 14, 25, 28-36.

8.- RUIZ RUBIO, ALONSO. INSPECCION RADIOGRAFICA DE LAS UNIONES SOLDADAS. 1a. Ed. 1971, Ed. URMO, ESPAÑA.

Cit. Bibl. 30, 66-81, 118, 181.

9.- INSTITUTO MEXICANO DEL PETROLEO. RADIOLOGIA Y RADIOGRAFIA INDUSTRIAL. Pub. Imp. 1986.

Cit. Bibl. 68-72-74, 84, 85, 103-107, 138.

10.- PETROLEOS MEXICANOS. CURSO DE ESPECIALIDAD PARA SUPERVISORES DE OBRA. Pub. PEMEX. 1990.

Cit. Bibl. 129, 151, 154, 221, 263.

11.- INSTITUTO MEXICANO DEL PETROLEO. CURSO SOBRE INTERPRETACION DE RADIOGRAFIAS PARA LA DETERMINACION DE DEFECTOS EN LA SOLDADURA. Pub. Imp. 1985.

Cit. Bibl. 8-18.

12.- PETROLEOS MEXICANOS. REQUISITOS MINIMOS DE SEGURIDAD PARA EL DISEÑO, CONSTRUCCION, OPERACION, MANTENIMIENTO E INSPECCION DE TUBERIAS DE TRANSPORTE. NORMA NSPM-A VIII-1. Rev. 4. 1984.

Cit. Bibl. 2.3., 2.5, 2.13, 5.14.

13.- THE LINCON ELECTRIC. CO. THE PROCEDURE HANDBOOK OF ARC

WELDING. 1973. Ed. Por. THE LINCON ELECTRIC, CO.

Cit. Bibl. 10-22, 48, 53.